



# Energiesysteme der Zukunft

eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)

Handbuch

Optimierung der Beschaffungs- und  
Distributionslogistik bei großen Biogasanlagen

Projektnummer 810695/8539

Auftragnehmer:

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik

2. Ausschreibung der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft

	<b>Institution / Unternehmen</b>	<b>MitarbeiterIn</b>
<b>Antragsteller</b>	Universität für Bodenkultur Wien Department für Nachhaltige Agrarsysteme Institut für Landtechnik Peter Jordan-Straße 82, A-1190 Wien	Ao.Univ.Prof. Dr. Thomas Amon Dr. Katharina Hopfner-Sixt Dr. Barbara Amon DI Alexander Bauer
<b>Werkvertrags- partner</b>	HBLFA Francisco Josephinum BLT - BIOMASS   LOGISTICS   TECHNOLOGY Rottenhauser Str. 1 A-3250 Wieselburg	DI Franz Handler Dipl.-HLFL-Ing. Emil Blumauer
	Universität für Bodenkultur Wien Institut für Agrar- und Forstökonomie Feistmantelstraße 4 A-1180 Wien	Dr. Michael Eder DI Bernhard Stürmer
	Arge Kompost und Biogas Landstrasse 11 A-4020 Linz	DI (FH) Arne Ritzmann

**Wien, Dezember 2007**

## **Inhalt**

<b>1. Ernte der Substrate</b> ( <i>F. Handler und E. Blumauer</i> ) .....	<b>4</b>
1.1 Häckseln .....	4
1.2 Transport.....	8
1.3 Übernahme des Erntegutes .....	16
1.4 Schlussfolgerungen.....	19
<b>2. Lagerung der Substrate</b> ( <i>A. Ritzmann</i> ).....	<b>19</b>
2.1 Flüssige Substrate .....	20
2.2 Feste Substrate.....	20
2.3 Schlussfolgerungen.....	27
<b>3. Einbringung der Substrate</b> ( <i>A. Ritzmann</i> ) .....	<b>27</b>
3.1 Einbringung flüssiger Substrate .....	27
3.2 Einbringung fester Substrate.....	29
3.3 Schlussfolgerungen.....	33
<b>4. Separierung des Gärrestes</b> ( <i>T. Amon, K. Hopfner-Sixt, B. Amon und A. Bauer</i> ) <b>33</b>	
4.1 Verfahren zur Separierung .....	34
4.2 Verfahrenstechnische Leistung der Separatoren .....	36
4.3 Effekte der Separierung .....	37
4.4 Ermittelte Kenndaten der Separatoren.....	39
4.5 Schlussfolgerungen.....	45
<b>5. Ausbringung und Transport des Gärrestes und der flüssige Phase nach dem Separieren</b> ( <i>F. Handler und E. Blumauer</i> ).....	<b>46</b>
5.1 Einphasigen Verfahren.....	46
5.2 Mehrphasige Systeme .....	51
5.3 Gärrestverschlauchung .....	58
5.4 Schlussfolgerungen.....	63

In diesem Handbuch werden ausgewählte Ergebnisse des Projekts „Optimierung der Beschaffungs- und Distributionslogistik bei großen Biogasanlagen“ zusammengefasst. Ziel dieses Projektes war es die Wertschöpfung der Biogasproduktion aus agrarischen Rohstoffen durch logistische Maßnahmen sowohl auf der Eingangs- als auch auf der Ausgangsseite der Biogasanlage zu untersuchen und Möglichkeiten zur Systemoptimierung entlang der logistischen Kette aufzuzeigen. Die Liste der Literaturverweise im Handbuch finden Sie ausführlich im Endbericht.

## 1. Ernte der Substrate

*Autoren: F. Handler und E. Blumauer*

Die Bereitstellung von Rohstoffen zur Biogasproduktion ist für Biogasanlagenbetreiber und Lohnunternehmer eine Herausforderung bei der es darum geht möglichst zum optimalen Erntezeitpunkt große Mengen an Rohstoffen zu ernten, zu transportieren und so einzulagern, dass die Lagerverluste gering gehalten werden. Dies ist eine logistische Herausforderung für alle Beteiligten.

### 1.1 Häckseln

Für die Ernte von Halmgütern wie Silomais, Getreideganzpflanzen, Sonnenblume, Hirse, Grünroggen oder Anwelkgut von Wechselwiesen, Kleebeständen und Dauergrünland stehen Feldhäcksler mit einer Nennleistung von rund 200 bis über 700 kW mit entsprechenden Erntevorsätzen zur Verfügung. Es kann grundsätzlich zwischen zwei Verfahren unterschieden werden:

1. Häckseln auf parallel fahrendes Transportfahrzeug
2. Häckseln mit Überladehäcksler



Beim Häckseln auf ein parallel fahrendes Transportfahrzeug wird das Häckselgut vom Häcksler direkt auf den neben herfahrenden Anhänger gehäckselt. Der von einem Traktor gezogene Anhänger dient auch dem Transport zum Silo (Abbildung 1).

Der Überladehäcksler häckselt das Häckselgut in einen aufgebauten Container, welches am Vorgewende in bereit stehende Transportfahrzeuge übergeladen wird (Abbildung 2).

Abbildung 1: Häckseln auf parallel fahrendes Transportfahrzeug



Abbildung 2: Überladehäcksler beim Häckseln und Überladen

Der Massenstrom durch den Feldhäcksler ist die zentrale Kenngröße für die erforderliche Leistungsfähigkeit der nachfolgenden Transportkette.

Ackerfutter, Dauergrünland und Grünroggen werden vor dem Häckseln gemäht und geschwadet. Abbildung 3 zeigt, dass bei geringer Schwadstärke leistungsschwache Feldhäcksler mit den großen Feldhäckslern mithalten können. Ein hoher Massenstrom kann nur dann erreicht werden, wenn eine der Motorleistung angepasste Erntegutzufuhr möglich ist. Dies setzt bei Feldhäckslern mit hoher Motorleistung ausreichend große Schwade voraus, denn die Fahrgeschwindigkeit beim Häckseln kann nicht beliebig nach oben erhöht werden. In der Regel liegt die maximale Fahrgeschwindigkeit beim Häckseln unter 10 km/h. Begrenzend sind einerseits Bodenunebenheiten und andererseits ist bei höheren Fahrgeschwindigkeiten das Nebenherfahren des Transportfahrzeuges schwieriger. Das bedeutet für die Praxis, dass der Einsatz von Mittelschwadern problematisch sein kann, da gerade bei den Folgeschnitten die Rechbreite pro Schwad nicht in einem ausreichenden Maße variiert werden kann. In diesem Fall können Seitenschwader Abhilfe schaffen, wobei auch mit diesen bei geringen Erträgen die geforderten Schwadstärken praktisch nicht realisiert werden können (siehe Tabelle 1). Dasselbe gilt auch für Selbstfahrmäher mit integrierter Schwadzusammenführung, wo ebenfalls der Schwad für leistungsstarke Häcksler zu schwach sein kann. Abhilfe kann in diesem Fall die Zusammenführung zweier Schwade mittels Schwader bringen. Eine weitere Möglichkeit ist auf den Einsatz der Schwadzusammenführung zu verzichten um nachträglich entsprechend große Schwade durch die Wahl eines geeigneten Schwaders zu bereiten. Je nach aufzunehmender Schwadmasse ist der Feldhäcksler mit einer der Schwadmasse angepassten Pick-up ausgestattet. Neben der 3-m-Pick-up, die im Normalfall ausreicht, stehen Pick-up mit bis zu 4,5 m Arbeitsbreite für große Schwadmassen zur Verfügung.

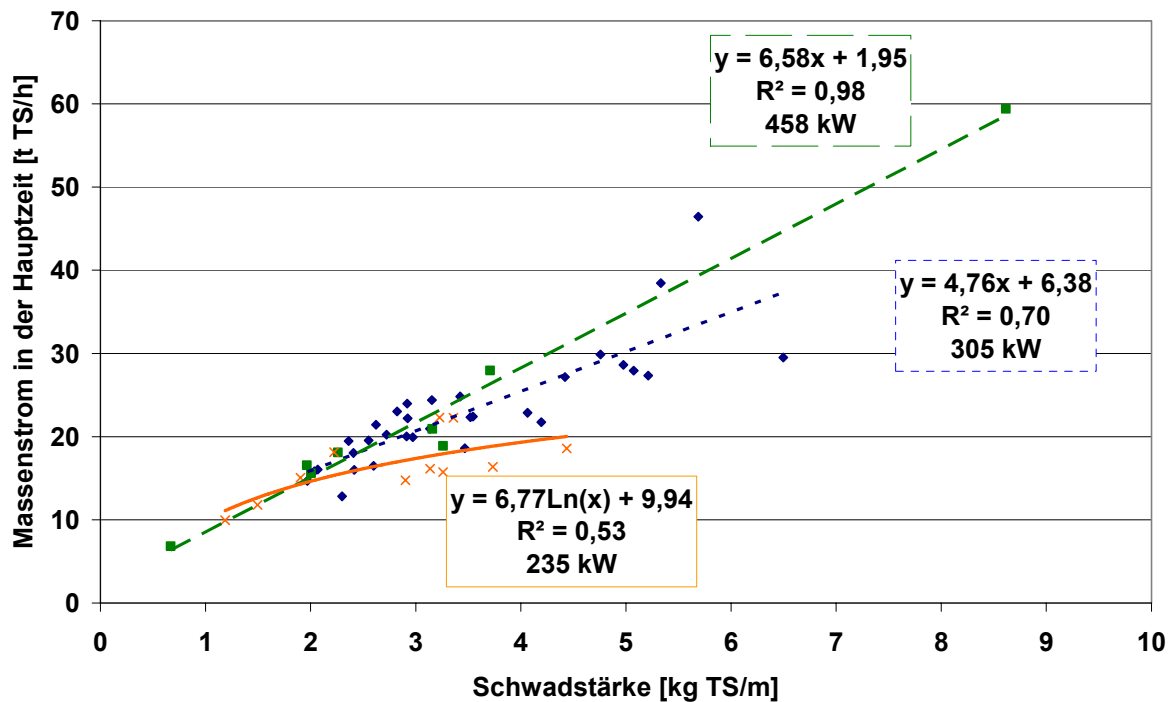


Abbildung 3: Massenstrom<sup>1</sup> durch den Häcksler in Abhängigkeit von der Schwadstärke beim Häckseln von Anwelkgut

Tabelle 1: Erforderliche Arbeitsbreite des Schwaders bei unterschiedlichen Erträgen

	Ertrag [t TS/ha]		
	2,0	3,0	4,0
Schwadstärke [kg TS/m]	Erforderliche Arbeitsbreite des Schwaders [m]		
2,0	10,0	6,7	5,0
4,0	20,0	13,3	10,0
8,0	40,0	26,7	20,0

Mit abnehmender Häcksellänge sinkt der Massenstrom durch den Häcksler. Wenn man sich beispielsweise den Massenstrom des Feldhäckslers mit 350 kW in Abbildung 4 bei ca. 5 und 15 mm ansieht, dann wird klar, dass 20 % des möglichen Massenstromes durch die Verringerung der Häcksellänge verloren gehen. Eine geringere Häcksellänge hat neben dem geringeren Massenstrom auch einen höheren Kraftstoffbedarf zur Folge (siehe Abbildung 6). Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen auch, dass beim Einsatz von Maisgebissen mit größerer Arbeitsbreite der Kraftstoffverbrauch reduziert werden kann. Unabhängig von der Schnittlänge konnten bei Erhöhung der Arbeitsbreite von 6 auf 9 m mehr als 20 % an Kraftstoff eingespart werden, denn je größer die Arbeitsbreite, desto kürzer ist die Wegstrecke, die zurückgelegt werden muss, um einen Hektar Silomais zu ernten.

<sup>1</sup> Massenstrom bezogen auf die reine Häckselzeit (ohne Wendezeiten)

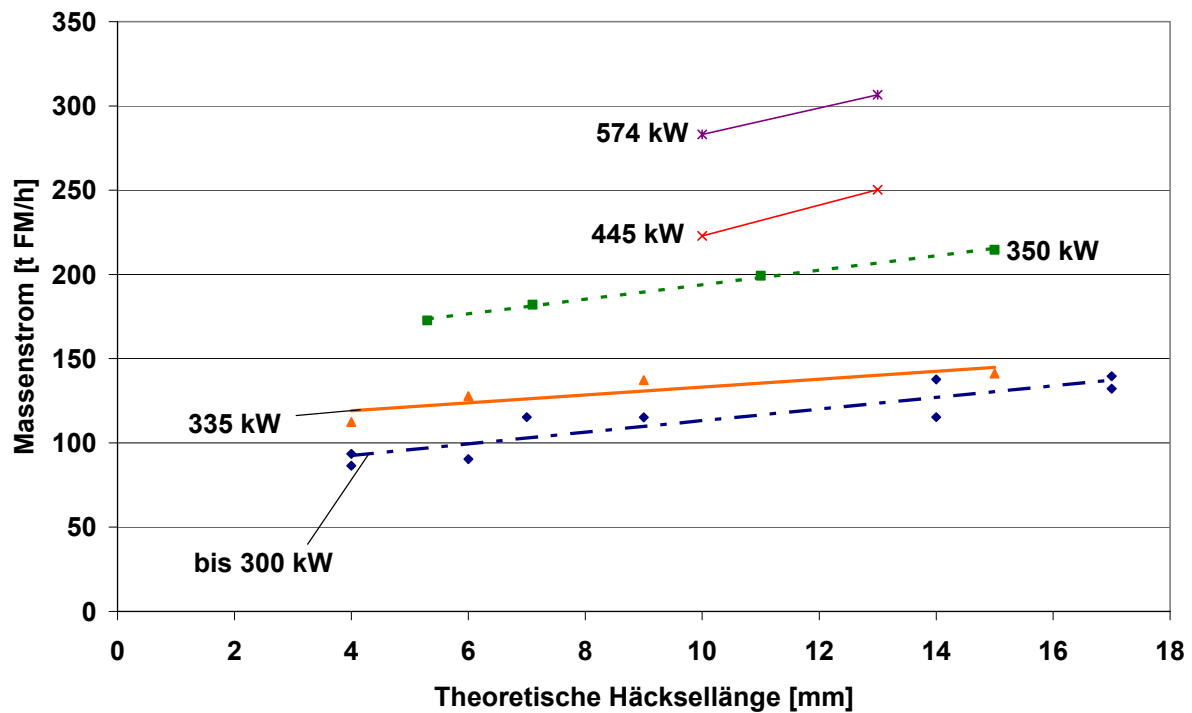


Abbildung 4: Massenstrom durch den Häcksler bei der Silomaisernte in Abhängigkeit von der theoretischen Häcksellänge (Zusammenfassung aus FVM MÜSZAKI INTEZET (2002) und DLG (2004))

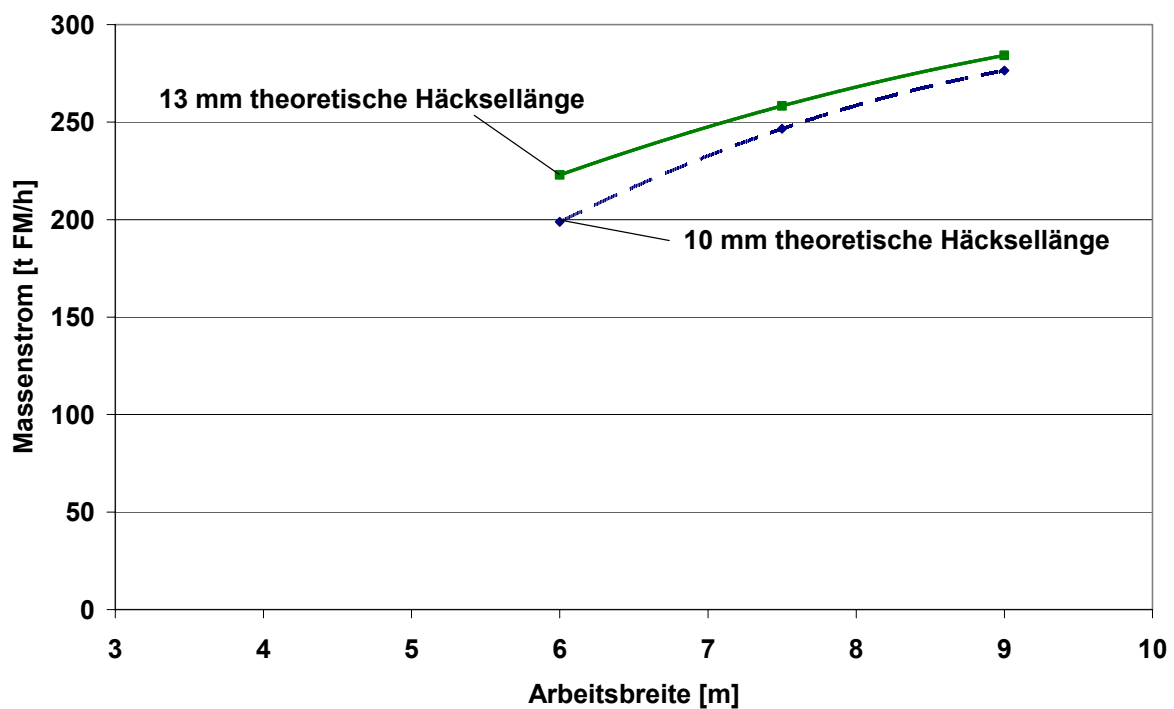


Abbildung 5: Massenstrom durch den Häcksler in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite beim Häckseln von Silomais (nach MÖLDER 2005)

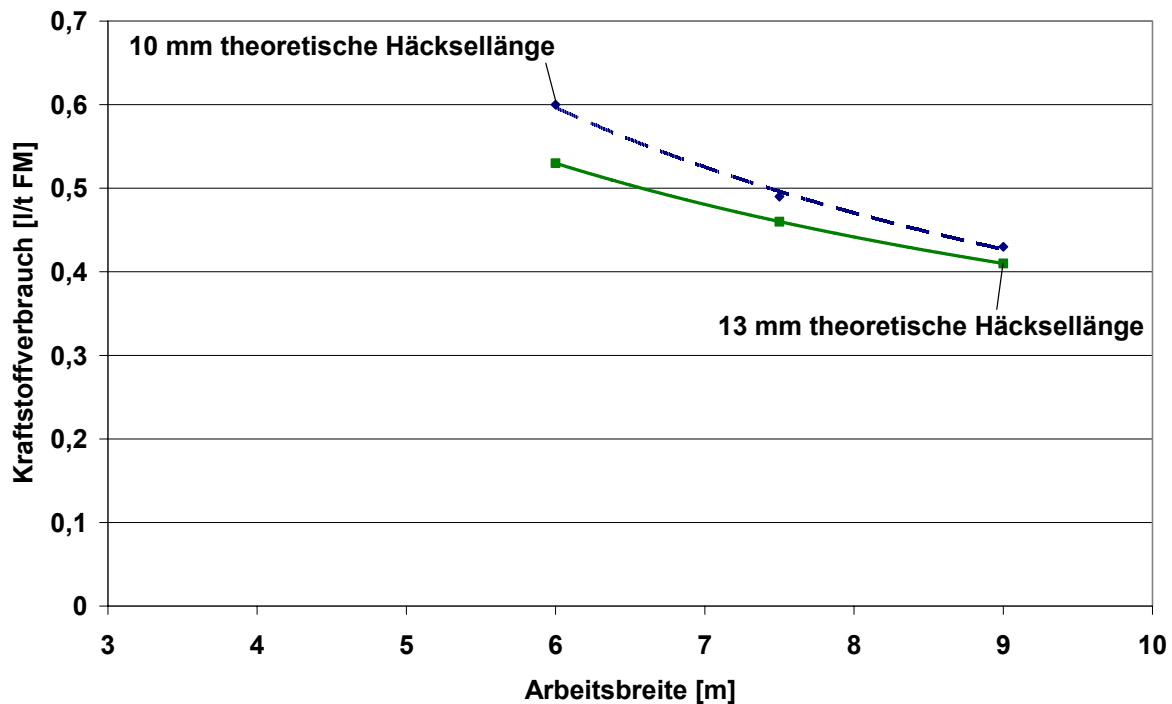


Abbildung 6: Einfluss der Arbeitsbreite von Maisgebissen auf den Treibstoffverbrauch (nach MÖLDER 2005)

## 1.2 Transport

Für den Transport werden Traktoren mit Anhänger oder LKW eingesetzt. Bei den Traktoranhängern kann zwischen Kratzboden-Häckselwagen, Abschiebewagen, Muldenkipper und Zwei- und Dreiseitenkipper unterschieden werden.

Der Kratzboden-Häckselwagen besteht aus Plateau, zwei Seitenwänden, einer vorne geschlossenen Wand und einer hydraulisch öffnenden Heckklappe. Entleert wird er über den Kratzboden, der sich auf dem Plateau befindet.

Der Abschiebewagen besteht aus einer nach vorne und hinten offenen Mulde, einer hydraulisch zu öffnenden Heckklappe und dem hydraulisch nach hinten verschiebbaren Schild. Das Schild dient zur Entleerung und wird über einen Teleskopzylinder nach hinten geschoben.

Der Muldenkipper oder auch Wannenkipper genannt, besteht aus einer nach vorne geschlossenen Mulde, die zur Entleerung gekippt wird. Die Rückwand wird meist hydraulisch oder in seltenen Fällen über ein Gestänge automatisch beim Kippen geöffnet.

Zwei- und Dreiseitenkipper sind die am weitest verbreiteten landwirtschaftlichen Transportfahrzeuge und verfügen über ein kippbare Plateau und meistens über mechanisch zu öffnende Wände.

Das Volumen der Traktoranhänger reicht üblicherweise bis 45 m³. In Ausnahmefällen werden auch Anhänger mit rund 60 m³ eingesetzt. Der Überladefeldhäcksler macht es möglich den LKW zum Häckselguttransport zu nutzen. Er befüllt den LKW vom Feld aus, so dass der LKW die Straße nicht verlassen muss. Der LKW gilt bei großen Entfernungen als das günstigste Transportmittel, da er ausschließlich für den Gütertransport konzipiert wurde. Das Fassungsvermögen liegt zwischen 70 und 90 m³.



## Ladedichte

Neben dem Volumen spielt die Ladedichte eine entscheidende Rolle für die Effizienz des Transportes. Bei Silomais zeigte sich eine steigende Ladedichte mit zunehmenden Trockensubstanzgehalt (siehe Abbildung 7). Das Fassungsvermögen der bei den Erhebungen eingesetzten Anhänger bewegte sich zwischen 23 und 40 m<sup>3</sup>. Die Erklärung für die steigende Transportdichte mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt dürfte der mit zunehmender Reife höhere Kornanteil in der Ganzpflanze sein. Weiters erhöht sich die Ladedichte mit zunehmendem Befüllweg. Dies dürfte auf die mit der Fahrt am Feld verbundenen Rüttelbewegungen zurückzuführen sein. Aus diesem Grund war bei Verwendung des Maisgebisses mit 4,5 m Arbeitsbreite die mittlere Transportdichte um rund 20 kg TS<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> Laderaum höher als bei Verwendung des Maisgebisses mit 6 m Arbeitsbreite. Je nach Trockensubstanzgehalt des Silomaishäckselgutes und verwendetem Maisgebiss lag die mittlere Transportdichte zwischen 80 und 140 kg/m<sup>3</sup> Transportvolumen.

Auch bei Sonnenblumenhäckselgut konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Trockensubstanzgehalt und der Transportdichte auf den Anhängern festgestellt werden. Allerdings war der Einfluss des Trockensubstanzgehaltes deutlich geringer als bei Silomaishäckselgut. Bei Sonnenblumenhäckselgut lag je nach Trockensubstanzgehalt die mittlere Transportdichte zwischen 64 und 118 kg/m<sup>3</sup> Häckselgut (Abbildung 8).

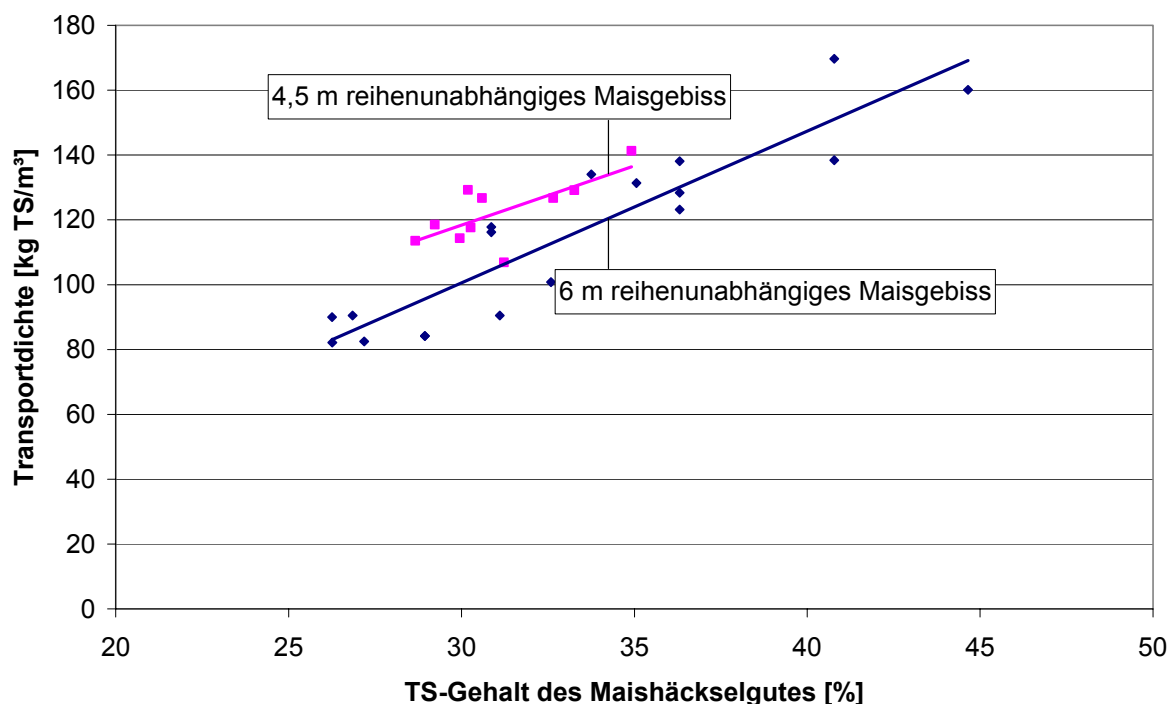


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen dem TS-Gehalt des Silomaishäckselgutes und der Transportdichte

<sup>2</sup> TS .. Trockensubstanz

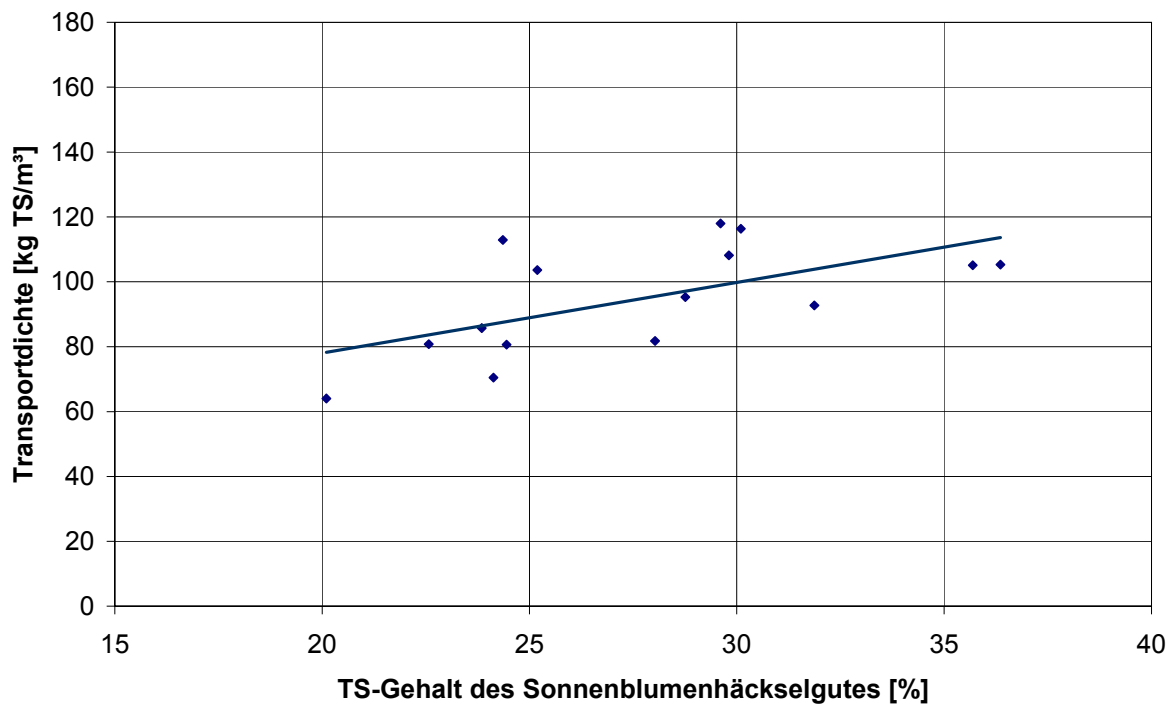


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen dem TS-Gehalt des Sonnenblumenhäckselgutes und der Transportdichte

Bei Wechselwiesen, Klee- und Luzernegrasmischungen und Dauergrünland konnte kein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen der Transportdichte auf der einen Seite und dem Trockensubstanzgehalt bzw. dem Befüllweg auf der anderen Seite gefunden werden. Der fehlende Einfluss des Trockensubstanzgehaltes hängt vermutlich mit der Tatsache zusammen, dass der Trockensubstanzgehalt des Anwelkgutes nicht vom Entwicklungsstadium des Pflanzenbestandes abhängt, sondern vom Grad des Anwelkens nach dem Mähen. Die mittlere Transportdichte bei Anwelkgut mit einem Trockensubstanzgehalt zwischen 30 und 50 % lag bei 90 kg Trockensubstanz/m<sup>3</sup> Laderaum.

Tabelle 2: Mittlere Transportdichte und Trockensubstanzgehalt von weiteren Häckselgütern

Kultur	Mittlere Transportdichte [kg TS/m <sup>3</sup> ]	Mittlerer Trockensubstanzgehalt [%]
Hirse	94	25,3
Grünroggen	87	27,3
Getreideganzpflanzen	92	32,8



Abbildung 9: Feldhäcksler mit 354 kW Nennleistung bei der Anwelkgutaufnahme mit 3-m-Pick-up



Abbildung 10: Getreideganzpflanzenernte mit Direktschneidwerk (Werksfoto Firma Claas)

Bei der Produktion von Getreideganzpflanzensilage stehen Direktschneidwerke mit 5,2 und 6,2 m Arbeitsbreite zur Verfügung. In Tabelle 2 sind die mittleren Transportdichten und Trockensubstanzgehalte für Hirse, Grünroggen und Getreideganzpflanzen zusammengefasst. Diese lagen alle im Bereich von rund 90 kg TS / m<sup>3</sup>.

### Erlaubte Fahrgeschwindigkeiten

Beim Transport werden möglichst hohe mittlere Transportgeschwindigkeiten angestrebt. Mit nicht zum Verkehr zugelassenen Anhängern darf 25 km/h gefahren werden, wenn das Gesamtgewicht 18 t nicht übersteigt, sie über eine entsprechende Bremsanlage, die Aufschrift „25 km“, ein entsprechendes Herstellerschild, Schlussleuchten, Rückstrahler und Fahrtrichtungsanzeiger verfügen. Soll schneller gefahren werden, müssen zum Verkehr zugelassene Anhänger (20 km, 25 km, 40 km, über 40 km) eingesetzt werden. Über 25 km/h Bauartgeschwindigkeit unterliegen sie der jährlichen Überprüfung nach KDV §57a („Pickerl“). Weiters gelten für in der Land- und Forstwirtschaft

eingesetzte Anhänger, deren Bauartgeschwindigkeit über 40 km/h liegt, dieselben technischen Bedingungen wie für gewerbliche Anhänger (z. B. automatischer lastabhängiger Bremskraftregler, ABS-Regelung). Die Sicherheitsberatung der Sozialversicherungsanstalt der Bauern hat die sechsseitige Broschüre „Anhänger“ mit den zulässigen Gesamtgewichten und erforderlichen Ausrüstungen entsprechend der erlaubten Höchstgeschwindigkeit veröffentlicht. Diese ist kostenlos als Download erhältlich (<http://www.svb.at/mediaDB/60641.PDF>). Weiters gibt es von Österreichischen Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung eine kostenpflichtige 60 Seiten umfassende Publikation mit dem Titel „Der Traktor im Straßenverkehr“ mit allen gesetzlichen Auflagen und Bestimmungen, die einzuhalten sind.

### Zeitbedarf für den Transport

Im Folgenden sind ausgewählte Ergebnisse von Modellrechnungen zusammengefasst, um verschiedene Einflussfaktoren auf den Arbeitszeitbedarf, der für den Transport aufgewendet werden muss, darzustellen. Die Berechnungen enthalten die Zeit für die Fahrt zum Feld, das Warten, das Befüllen am Feld, die Rückfahrt zum Substratlager, die Übernahme und das Entladen. Da der Feldhäcksler während der Erntezeit maximal ausgenutzt werden soll und

dieser auch die teuerste Maschine in der Kette ist, wird im Folgenden davon ausgegangen, dass die Transportkette so gestaltet ist, dass beim Häcksler keine Wartezeiten auftreten.

### Einfluss des Ladevolumens der Transportfahrzeuge beim Häckseln auf parallel fahrende Transportfahrzeuge

Abbildung 11 zeigt den Arbeitszeitbedarf für den Transport von Silomais mit einer Transportdichte von  $110 \text{ kg TS/m}^3$  und einem mittleren Massenstrom des Häckslers von  $47 \text{ t TS/h}$  bei  $32\%$  Trockensubstanzgehalt.

Zu den stufenförmigen Verläufen kommt es wegen der Bedingung, dass der Häcksler keine Wartezeit aufweisen soll. Jede Stufe entspricht einem zusätzlichen Anhänger, der eingesetzt werden muss, um mit zunehmender Feld-Hofentfernung diese Bedingung erfüllen zu können. Die Stufen werden durch die Wartezeit des zusätzlichen Anhängers verursacht. Die an der Basis der Treppe dargestellten strichlierten Linien zeigen den Verlauf des Arbeitszeitbedarfes ohne Warten vor dem Befüllen (Häckseln) am Feld, da der vorherige Anhänger noch nicht voll ist.

Je kleiner die Anhänger, umso größer muss die Anzahl der Anhänger sein, um bei einer bestimmten Feld-Hofentfernung den Häcksler voll auslasten zu können. Beispielsweise werden unter den unterstellten Bedingungen bei einer Feld-Hofentfernung von  $4 \text{ km}$  fünf  $40\text{-m}^3$ -Anhänger, sechs  $34\text{-m}^3$ -Anhänger, sieben  $25\text{-m}^3$ -Anhänger oder elf  $16\text{-m}^3$ -Anhänger benötigt.

Der Einsatz von unterschiedlich großen Anhängern kann keinesfalls empfohlen werden, da kleinere Anhänger eine kürzere Befüllzeit aufweisen und damit dem darauffolgenden größeren Transportgespann weniger Zeit für den Transport zur Verfügung steht. Das bedeutet in der Praxis, dass bei einer gut ausgelasteten Transportkette der Häcksler auf das große Transportgespann warten muss.

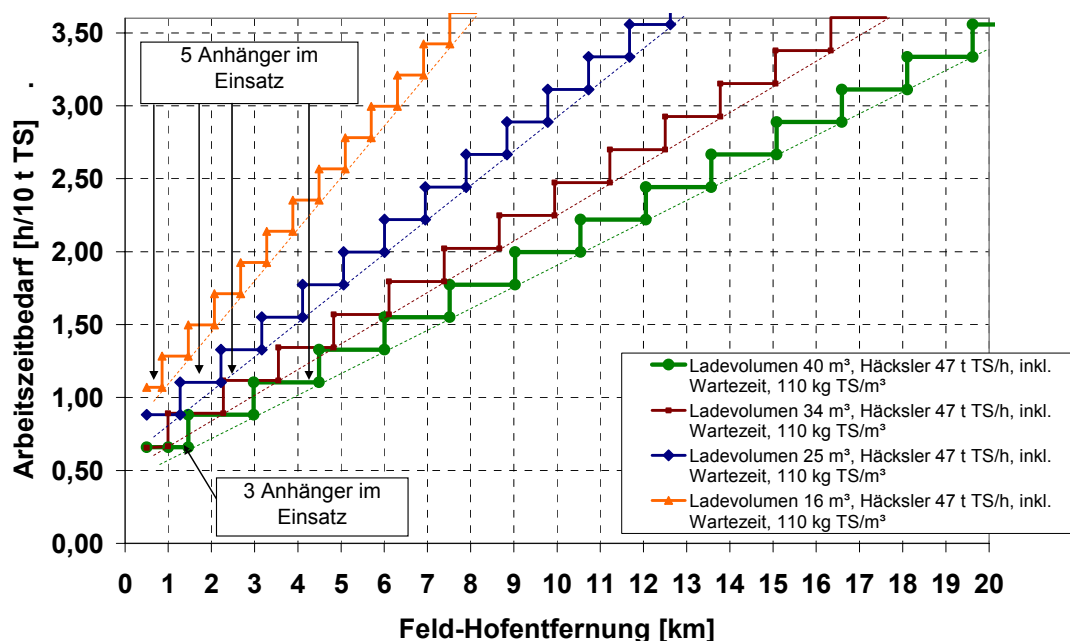


Abbildung 11: Arbeitszeitbedarf für den Häckselguttransport bei der Silomaisernte in Abhängigkeit von der Feld-Hofentfernung (Lagerungsdichte am Anhänger:  $110 \text{ kg TS/m}^3$ , mittlere Fahrgeschwindigkeit leer  $35 \text{ km/h}$ , voll  $30 \text{ km/h}$ , keine Wartezeit des Häckslers)

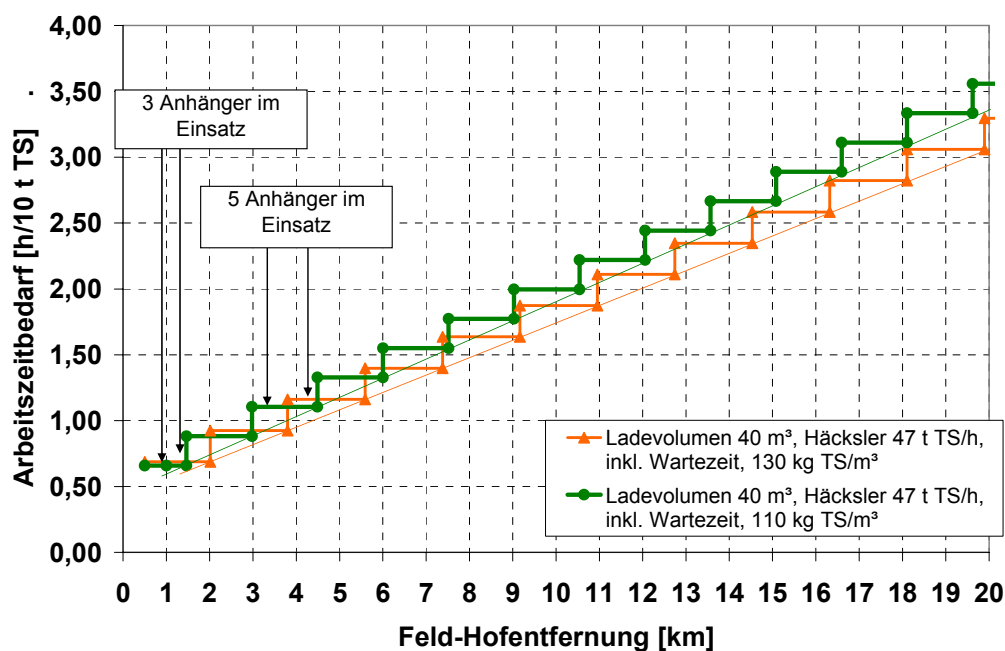


Abbildung 12: Arbeitszeitbedarf für den Häckselguttransport bei der Silomaisernnte in Abhängigkeit von der Feld-Hofentfernung bei einer Lagerungsdichte am Anhänger von 110 kg TS/m³ und 130 kg TS/m³ (mittlere Fahrgeschwindigkeit leer 35 km/h, voll 30 km/h, keine Wartezeit des Häckslers)

### **Einfluss der Lagerungsdichte des transportierten Materials beim Häckseln auf parallel fahrende Transportfahrzeuge**

Der Anstieg der Ladedichte am Transportfahrzeug von 110 auf 130 kg TS/m³ bewirkte vor allem bei großen Transportentfernungen einen geringeren Arbeitszeitbedarf und es muss erst bei größeren Feld-Hofentfernungen ein zusätzliches Transportgespann eingesetzt werden (siehe Abbildung 12). Bei einer Dichte von 110 kg TS/m³ wird mit 5 Anhänger bis 4,5 km das Auslangen gefunden, bei einer Dichte von 130 kg TS/m³ bis 5,6 km. Aufgrund der Wartezeiten vor dem Befüllen am Feld wäre bei einer Feld-Hofentfernung von 4 km aber die geringere Ladedichte günstiger.

### **Einfluss des Massenstromes durch den Feldhäckslider beim Häckseln auf parallel fahrende Transportfahrzeuge**

Abbildung 13 zeigt, dass der leistungsfähigere Häckslider bei gleicher Transportentfernung entsprechend mehr Transportfahrzeuge benötigt als der leistungsschwächere. So werden beispielsweise bei einer Transportentfernung von 10 km beim Häckslider mit einem Massenstrom von 20 t TS/h fünf Transporteinheiten mit 40 m³ benötigt, bei einem Häckslider mit 47 t TS/h neun. Der Arbeitszeitbedarf pro 10 t TS und die maximalen Wartezeiten der Anhänger sinken, da mit zunehmender Leistung des Häckslers die Befüllzeit der Anhänger geringer wird.

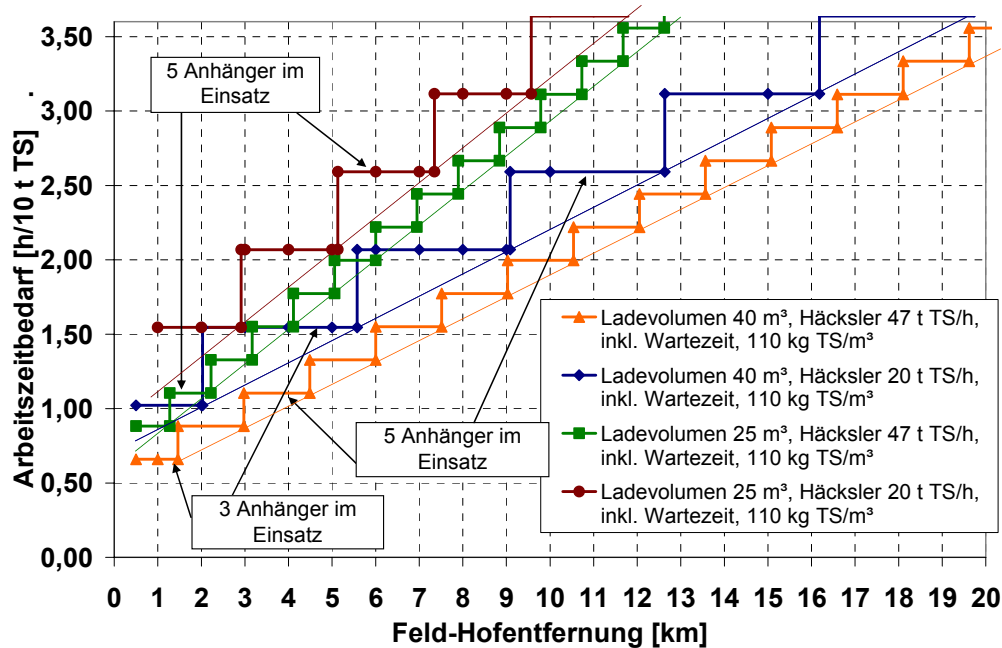


Abbildung 13: Arbeitszeitbedarf für den Häckselguttransport bei der Silomaisernnte bei unterschiedlichen Massenströmen durch den Häcksler (Lagerungsdichte am Anhänger von 110 kg TS/m<sup>3</sup>, mittlere Fahrgeschwindigkeit leer 35 km/h, voll 30 km/h, keine Wartezeit des Häckslers)

### Überladefeldhäcksler und seine Auswirkungen auf den Arbeitszeitbedarf für den Transport

Der Überladefeldhäcksler ist teurer als ein herkömmlicher Feldhäcksler. Er hat aber den Vorteil, dass er seinen Bunker auch auf große Transportfahrzeuge, die wegen ihres Gewichtes und ihrer Bereifung nicht in das Feld fahren können, entleeren kann.

Für den Vergleich in Abbildung 14 wurde ein Trockensubstanzertrag von 14 t/ha unterstellt. Beide Häcksler verfügen über einen reihenlosen Maisvorsatz mit 5,6 m Arbeitsbreite. Für die Bunkerentladung muss zum Feldrand gefahren werden (Feldfahrt voll). Dies führt dazu, dass bei ungünstigen Feldlängen, wie sie bei den Schlägen 1 ha (2:1) und 3 ha (2:1,5) auftreten, der Befüllungsgrad des Bunkers schlecht ist und damit der Anteil von Fahrten am Feld (Feldfahrt voll, Leerfahrt) relativ hoch wird. Die eigentliche Entleerung dauert im Mittel zwei Minuten. Im Vergleich zum normalen Feldhäcksler bewirkt vor allem das Überladen einen deutlich höheren Arbeitszeitbedarf. Mit Zunahme der Feldlänge bzw. Grundstücksgröße nimmt die Überlegenheit des normalen Feldhäckslers zu. Bei einer Schlaggröße von 0,5 ha erzielt der normale Feldhäcksler einen um rund 18 % höheren Massenstrom. Bei einer Schlaggröße von 3 ha steigt die Differenz auf 38 bzw. 42 % an.

In Abbildung 15 ist der Häckselguttransport nach der Silomaisernnte mit dem Überladefeldhäcksler zusammengefasst. Als Vergleich zum Standardfeldhäcksler ist ein Transportgespann mit 40 m<sup>3</sup> Ladevolumen eingezeichnet. Dieser Vergleich zeigt, dass der Überladefeldhäcksler auf Grund seiner geringeren Leistungsfähigkeit beim Häckseln bei gleichem Ladevolumen der Transportfahrzeuge höhere Arbeitszeiten beim Transport verursacht. Er benötigt aber bei gleicher Transportentfernung weniger Transportfahrzeuge. Durch die Möglichkeit auf große Transportfahrzeuge überladen zu können, ist der Überladefeldhäcksler bezüglich der Transportzeit bei großen Feld-Hofentfernungen dem



Standardfeldhäcksler überlegen. Ab welcher Transportentfernung er eingesetzt wird, ist letztlich eine ökonomische Entscheidung.

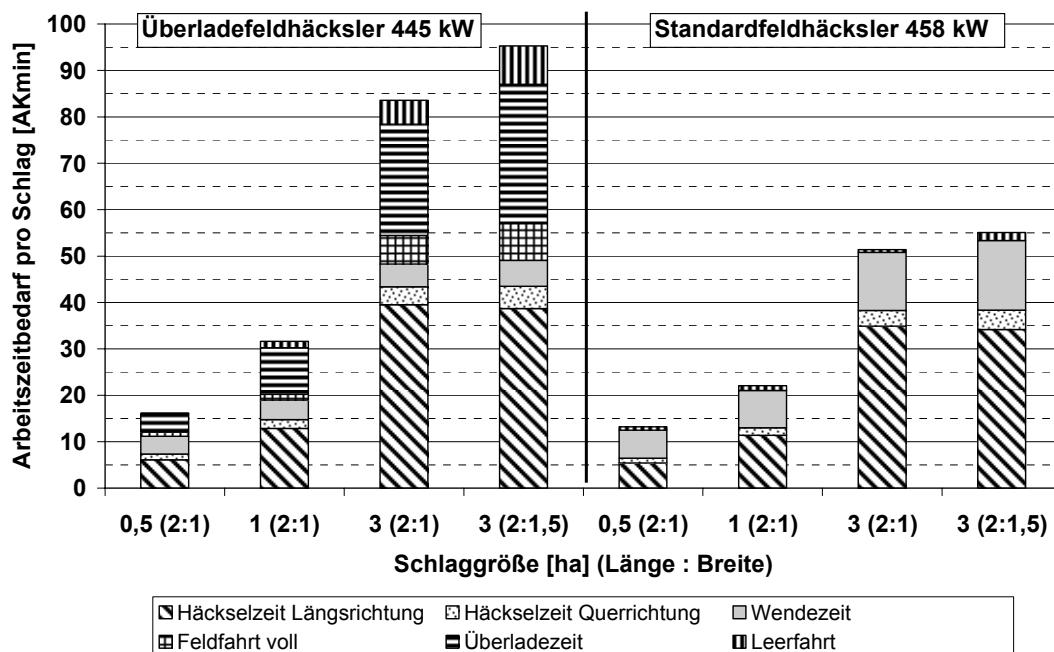


Abbildung 14: Vergleich von Überladefeldhäcksler (445 kW) und normalem Feldhäcksler (458 kW) bezüglich des Arbeitszeitbedarfes pro Schlag

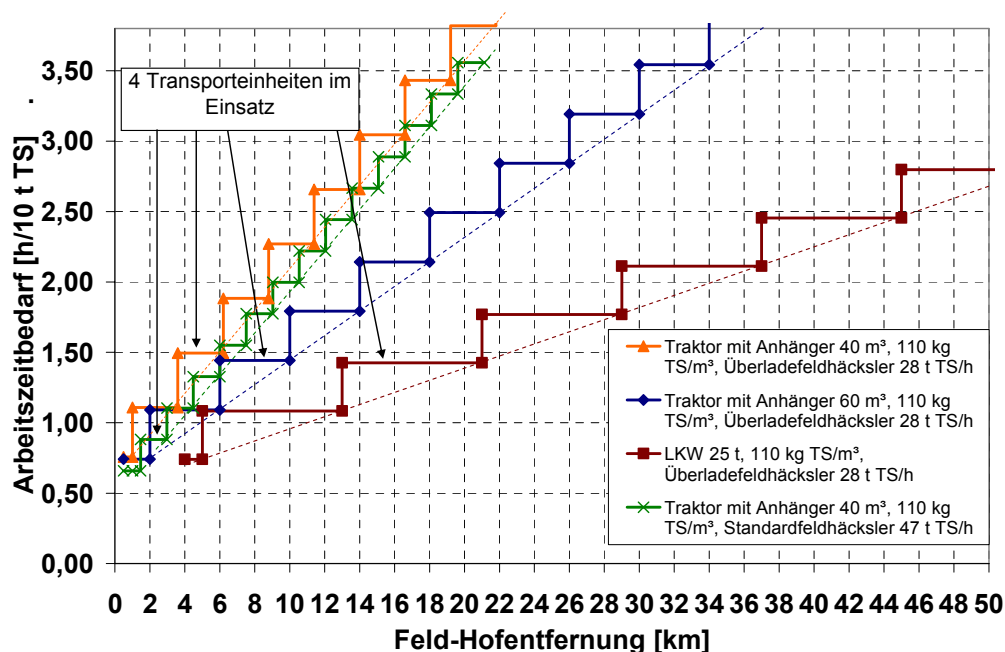


Abbildung 15: Arbeitszeitbedarf für den Häckselguttransport bei der Silomaisernnte in Abhängigkeit von der Feld-Hofentfernung (Lagerungsdichte am Transportfahrzeug: 110 kg TS/m³, mittlere Fahrgeschwindigkeit Traktor leer 35 km/h, voll 30 km/h, mittlere Fahrgeschwindigkeit LKW leer 65 km/h, voll 55 km/h, keine Wartezeit des Häckslers)

## Einfluss der Kultur auf den Arbeitszeitbedarf für den Transport

Entscheidend für den Arbeitszeitbedarf pro 10 t TS sind einerseits die Ladedichte und andererseits der Massenstrom durch den Feldhäcksler. Am günstigsten schneidet Silomais ab. Er ist die Kultur mit der höchsten Ladedichte und mit dem höchsten Massenstrom des Häckslers. Hinter Silomais folgen Sonnenblume und Hirse. Die höchsten Werte weisen Anwelkgut (Ackerfutter, Dauergrünland), Grünroggen und Getreideganzpflanzen (Triticale) auf. Die Unterschiede werden mit zunehmender Transportentfernung größer.

### 1.3 Übernahme des Erntegutes

Ein wesentlicher Teil des Transportes ist die Übernahme des Erntegutes beim Lager. Sie erfolgte bei allen untersuchten Betrieben unmittelbar vor dem Silo. Besonders von Vorteil war es, wenn die Transporteinheiten gerade auf die Brückenwaage fahren konnten. Bei seitlicher Anfahrt auf die Brückenwaage war teilweise ein Anhängerreifen nicht zur Gänze auf der Brückenwaage. Dies bedeutete, dass erneut die Brückenwaage angefahren werden musste und wertvolle Zeit vergeudet wurde. Der „Wiegemeister“ hat eine Vertrauensstellung und überwacht und dokumentiert die Anlieferung und Probennahme.

Die notwendige Probenziehung zur Abrechnung nach dem Trockensubstanzgehalt erfolgte je nach Vereinbarung mit den Lieferanten pro Feld bzw. pro Fuhre.

Die Bestimmung der Trockensubstanz erfolgte, wenn eine eigene Person für das Wiegen, das Erfassen der Herkunft und die Probenziehung verantwortlich war, unmittelbar nach der Probenziehung. Ansonsten wurden die beschrifteten Proben tief gefroren und später getrocknet. Teilweise werden von den Anlagenbetreibern zusätzlich Rückstellungsmuster eingelagert. Diese mussten entsprechend codiert werden, um sie später den einzelnen Ernteflächen zuordnen zu können.

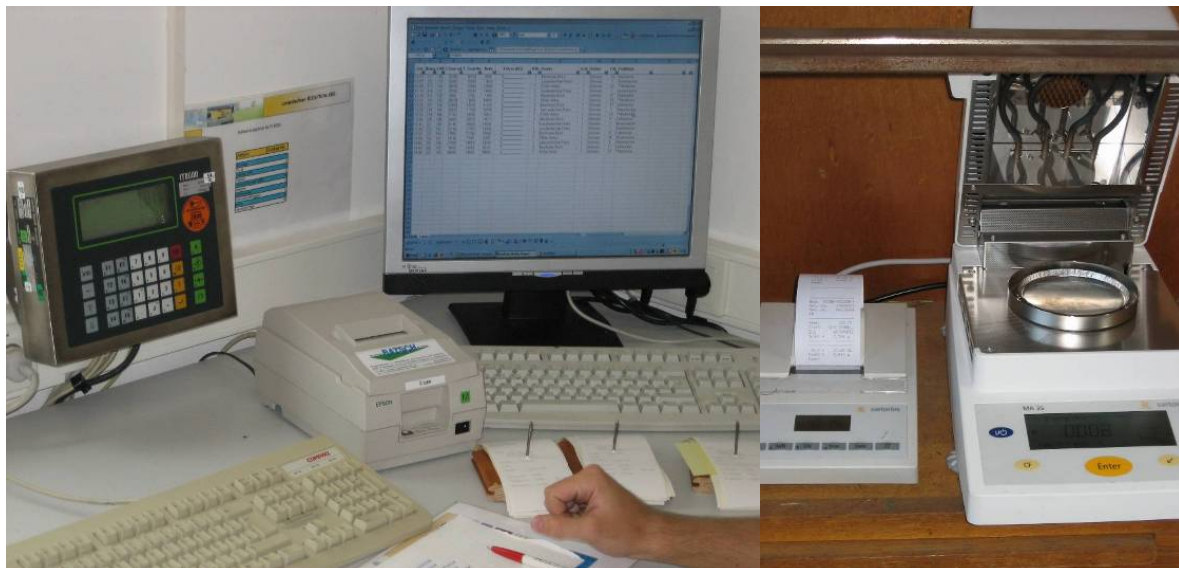


Abbildung 16: Arbeitsplatz eines Wiegemeisters und Schnellbestimmungsgerät zur Feuchtebestimmung mit Drucker

Die Bestimmung der Trockensubstanz erfolgte im Trockenschrank, im Trockenraum (Abwärme des BHKW) oder durch Schnellbestimmungsgeräte. Diese sind mit einem Datenausgang für Drucker bzw. PC ausgestattet (siehe Abbildung 16).



Für die Bestimmung der Kornfeuchte bei Körnermais wurden Getreidefeuchtemesser eingesetzt. Je nach Anschaffungskosten erfolgte die Feuchtemessung am Ganzkorn bzw. im zerkleinerten Zustand.

Grundvoraussetzung für eine nachvollziehbare Dokumentation der angelieferten Mengen und Qualitäten sowie deren Zuordnung zu den Lieferanten ist eine gute Ernteplanung. Sie spart aber auch Kosten, denn wenn alle Fahrer wissen in welcher Reihenfolge die Schläge abgeerntet werden und wie sie diese erreichen, können Standzeiten vermieden werden. Teilweise wurden die abzuerntenden Flächen mit farbigen Schildern und der Schlagnummer gekennzeichnet. Die Fahrer der Transportgespanne wissen dadurch von welchem Schlag und welchem Lieferanten der Rohstoff stammt. Durch das Einschieben des entsprechenden Kärtchens in eine an der Traktorkabine befestigte Klarsichtfolie kann der Wiegemeister erkennen von welchem Lieferanten und von welchem Feld das Erntegut stammt (siehe Abbildung 17). Dies erleichtert die Kommunikation zwischen Fahrer und Wiegemeister



Abbildung 17: Codierung der Transporteinheit mit Lieferantencode

wesentlich. Die Probenahme erfolgt in den festgelegten Intervallen von der Siloplatte oder direkt vom Anhänger herunter. Bei Probenahme vom Anhänger ist es notwendig, dass der Fahrer oder der Wiegemeister auf diesen klettert und eine Probe zieht.

Im Bereich der Brückenwaage werden laufend die organisatorischen Fragen geklärt und die Fahrer mit Speisen und Getränken versorgt. Aus diesem Grund schwankt die Standzeit auf der Brückenwaage sehr stark. Kommunikationsprobleme und Unklarheiten sind wesentlich für längere Standzeiten auf der Brückenwaage verantwortlich. Tagsüber

erfolgte die Verständigung über Handzeichen. Bei Dunkelheit stand häufig eine Signallichtanlage (rot, grün) zur Verfügung.

Zusammenfassend wurden bei der Erntegutübernahme folgende Vorgehensweisen beobachtet:

- Keine Verwiegung und keine Bestimmung der Trockensubstanz des angelieferten Gutes  
Diese Vorgehensweise wurde bei Anlagen gefunden, wo die Anlagenbetreiber gleichzeitig auch die Bewirtschafter der Flächen waren, von denen das Gärsubstrat geerntet wurde.
- Verwiegen und Bestimmung der Trockensubstanz des angelieferten Gutes  
Dabei kann zwischen folgenden Vorgehensweisen unterschieden werden:
  - Verwiegen des angelieferten Materials, erfassen der Herkunft, Ziehung der Probe für die Trockensubstanzbestimmung bei der Waage durch eine eigene Person
  - Verwiegen des angelieferten Materials und erfassen der Herkunft bei der Waage, Ziehung der Probe für die Trockensubstanzbestimmung nach dem Entladen beim Silo durch eine eigene Person
  - Verwiegen des angelieferten Materials und erfassen der Herkunft bei der Waage mittels Chipkarte, Ziehung der Probe für die Trockensubstanzbestimmung nach dem Entladen beim Silo durch eine eigene Person

- Verwiegen des angelieferten Materials vom Fahrer des Transportfahrzeuges mittels Fernbedienung der Waage, erfassen der Herkunft der Lieferung und Ziehung der Probe für die Trockensubstanzbestimmung nach dem Entladen beim Silo durch Fahrer eines Walzfahrzeuges

### Arbeitszeitbedarf für die Wiegung der angelieferten Rohstoffe

In Tabelle 3 sind die mittleren Zeitaufwendungen für die Wiegung eingetragen. So hatten Betriebe mit automatischer Identifizierung mittels Chip, automatischer Wiegung und Datenaufzeichnung die geringste Standzeit mit 0,20 min/Wiegung auf der Brückenwaage. Dem Fahrer wird durch ein Ampelsignal signalisiert, dass die Wiegung abgeschlossen ist. Als Kontrolle kann der Fahrer auf einem Display die gewogene Gesamtmasse ablesen.

Tabelle 3: Erforderlicher Arbeitszeitaufwand auf der Brückenwaage in Abhängigkeit vom Wiegesystem

Art der Wiegung	Mittlerer Arbeitszeitaufwand/Wiegung [min]
Wiegung durch Wiegemeister	0,37 bis 0,93
Rückwaage durch Wiegemeister (teilweise auch mit Aushändigung des Durchschlages des Wiegezettels)	0,50 bis 2,96
Wiegung durch Wiegemeister, Probenahme auf Brückenwaage vom Anhänger	1,65
Automatische Wiegung und Datenerfassung mittels Chipidentifizierung	0,20

### Erforderlicher Zeitbedarf für den Abladevorgang

Zum Abladevorgang gehören das Öffnen der Bordwand bzw. der Heckklappe. Zeitsparend und bequem ist das hydraulische Öffnen und Schließen der Heckklappe bzw. Bordwand. Sind Bordwände bzw. Heckklappen händisch zu öffnen, muss der Fahrer vom Traktor absteigen und diese öffnen. Der erforderliche Zeitaufwand liegt in der Regel unter einer



Abbildung 18: Entleerung eines Abschiebewagens mit zeitgleicher Probenziehung

Minute. Sind zum Beispiel bei Kippern die Bordwände bzw. Haken verbogen, dann sind schnell einmal 2 min notwendig.

Der eigentliche Abladevorgang bei Abschiebewagen und Silierwagen mit Kratzboden hängt davon ab, wie schnell der Hydraulikzylinder ausgefahren wird bzw. wie schnell der Kratzboden bewegt wird. Dies hängt wesentlich von der Motordrehzahl bzw. Zapfwellendrehzahl ab. Ein Zusammenhang zur Größe der Transporteinheit konnte nicht hergestellt werden. Die Entladezeiten sind

in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Erforderlicher Arbeitszeitaufwand für die Entleerung der Transporteinheit

Transportgespann	Mittlere reine Entladezeit (ohne Bordwand bzw. Heckklappe öffnen) [min]
Kipper	0,50 bis 0,80
Abschiebewagen	0,61 bis 0,94
Kratzbodenentleerung	1,21 bis 1,61

## 1.4 Schlussfolgerungen

Die erforderliche Leistungsfähigkeit der logistischen Kette bei der Ernte von Energiepflanzen wird durch den von der Erntemaschine (Feldhäcksler) erzielten Massenstrom bestimmt. Die nachfolgende Transportkette muss diesem angepasst werden. Neben der Feld-Hofentfernung haben das Ladevolumen, die Ladedichte, die erzielbare Fahrgeschwindigkeit und die Anzahl der Transportfahrzeuge wesentlichen Einfluss auf den durch die Transportkette erzielten Massenstrom.

Besonderes Augenmerk ist auf die Optimierung der Übernahme des Erntegutes beim Lager zu legen, um eine fehlerfreie Erfassung der Herkunft, des Gewichtes und der Trockensubstanz sicherzustellen und um Wartezeiten der Transportfahrzeuge zu vermeiden. Steigende Ladevolumina, höhere Ladedichten, leistungsfähigere Erntemaschinen vermindern den Arbeitszeitbedarf pro t TS. Aufgrund der Wartezeiten kann es bei bestimmten Feld-Hofentfernungen Ausnahmen zu dieser allgemeinen Aussage geben. Wird von der Voraussetzung ausgegangen, dass die Erntemaschine keine Wartezeiten aufweisen soll, so können bei kleinen Transportentfernungen bis zu einem Drittel der Arbeitszeit der Transporteinheiten Wartezeiten sein. Es ist daher zu prüfen, ob es nicht ökonomisch günstiger ist, Wartezeiten der Erntemaschine in Kauf zu nehmen.

Um Wartezeiten zu vermeiden, sollen alle Transportgespanne das gleiche Fassungsvermögen und die gleiche Fahrgeschwindigkeit aufweisen. Bei Silomais und Sonnenblume konnte gezeigt werden, dass die Ladedichte mit zunehmendem Reifestadium der Pflanzen tendenziell zunimmt. Es sollte daher keinesfalls zu früh geerntet werden. Feuchtmals ist auf Grund der fast vierfachen Ladedichte bezogen auf die transportierte Trockensubstanz vor allem bei großen Transportentfernungen gegenüber den Halmgütern überlegen. Zusätzlich können Mähdrescher problemlos am Feldrand abgestellte LKW beladen. Bei den Halmgütern bietet der im Vergleich zum Standardfeldhäcksler teurere Überladefeldhäcksler diese Möglichkeit. Ab welcher Transportentfernung er eingesetzt wird, ist eine ökonomische Entscheidung.

## 2. Lagerung der Substrate

*Autor: A. Ritzmann*

Substratlager dienen in erster Linie dazu, Schwankungen bei der Bereitstellung und Anlieferung der verschiedenen Substrate und Kosubstrate auszugleichen. Die Gestaltung der Lager ist von der Konsistenz der verwendeten Substrate abhängig.

## 2.1 Flüssige Substrate

Flüssige Substrate wie Gülle sowie sortierte und aufbereitete organische Abfallstoffe werden in der Regel in so genannten Vorgruben oder Sammelbehältern gelagert. Abhängig von Substrataufkommen, Fermenterleistung, auszugleichenden Lieferzeiträumen, Flächenausstattung und Ertrag bei Kosubstraten sowie Lieferverträgen bei betriebsfremden Substraten können diese Behälter als kurzfristiges Lager bis zu ca. drei Tagen genutzt werden. Die Vorgruben bzw. Sammelbehälter müssen flüssigkeitsdicht, jedoch in der Regel nicht gasdicht sein. In vielen Fällen ist es notwendig, Rühr- oder Zerkleinerungsaggregate in der Vorgrube zu installieren.

## 2.2 Feste Substrate

Feste Substrate wie beispielsweise Energiepflanzen müssen durch Konservierung der Pflanzenmasse haltbar gemacht werden, um das ganze Jahr über als „Futter“ für die Biogasanlage zur Verfügung zu stehen. Die Silagequalität spielt dabei eine wesentliche Rolle, da Silierverluste und Silierqualität den ökonomischen Erfolg wesentlich beeinflussen (REINHOLD & PEYKTER 2007). Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen eignet sich für die meisten Substrate die Silierung in Fahrsilos.

Bei der Gärfutterbereitung kommt es darauf an, das Siliergut mit optimalem Trockensubstanzgehalt, gut verdichtet und mit optimalem Luftabschluss einzulagern, damit Verluste durch Sickersaftbildung und Fehlgärung möglichst gering gehalten werden können. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die bauliche Gestaltung der Siloanlage. Für Häcksel- oder Ladewagensilage werden zurzeit drei verschiedene Siloanlagensysteme verwendet:

- Siloplatten ohne Seitenwände,
- Fahrsilos mit geraden Seitenwänden,
- Fahrsilos mit schrägen Seitenwänden (Wandneigung = 23°, Traunsteiner Silosystem).

Die einzelnen Systeme haben eine Fülle von Vor- und Nachteilen, und nicht zuletzt unterscheiden sie sich auch in den Herstellungskosten. Silosysteme mit Seitenwänden sind hierbei erheblich teurer, weisen jedoch arbeitstechnische Vorteile auf. Seitenwände bieten eine gute Anlagefläche und Stabilität bei der Einlagerung und Walzarbeit.

Bei der Siloplatte muss nach Aussagen der Landwirtschaftskammern in Niederösterreich und Oberösterreich von einer Investition von 54 €/m<sup>2</sup> (schlüsselfertig) ausgegangen werden. Durch die schlechtere Verdichtung und die große Anschnittsfläche sind die Energieverluste gegenüber anderen Systemen deutlich höher.

Traunsteinersilosysteme weisen die geringsten Lagerverluste auf. Die schlüsselfertigen Investitionskosten für ein Traunsteiner Fahrsilo belaufen sich auf ca. 68 €/m<sup>3</sup><sub>Lagerraum</sub>. In Tabelle 5 werden die durchschnittlichen Trockensubstanz- und Energieverluste bei der Lagerung auf einer Siloplatte und im Traunsteinsilo vergleichend dargestellt.

Tabelle 5: Trockensubstanz- und Energieverluste bei Silomais (NL 2007)

	Siloplatte	Fahrsilo
		schräge Seitenwände
Trockensubstanzverluste (€/ha)	66	24
Energieverluste (€/ha)	98	30

Aufgabe der Silagebereitung ist es, aus hochwertigem Ausgangsmaterial durch Gärung unter geringen Verlusten eine Qualitätssilage zu erzeugen. Entscheidend für eine hohe Gärqualität ist es, den Silo nicht nur zügig zu befüllen, sondern das Siliergut auch entsprechend zu verdichten. Nach KASAL ET AL. (2003) muss bereits mit Beginn der Befüllung des Silos gewalzt werden, um Schimmelbildung zu verhindern. Eine gute Verdichtung stellt sicher, dass die Atmung des Siliergutes rasch zu Ende geht und damit verbundene Nährstoffverluste vermindert werden.

### Verdichten

In Abbildung 19 wird ein paralleles Abladen und Verdichten in nebeneinander liegenden Fahrsilos dargestellt. Eine gegenseitige Behinderung des Walz- und Transportgespannes ist im Interesse einer durchgehenden Verdichtung zu vermeiden.



Abbildung 19: Paralleles Abladen und Verdichten während der Substrateinlagerung

Als Richtgröße für die Verdichtung werden 230 kg TS/m<sup>3</sup> für einen TS-Gehalt von 28 % und 270 kg TS/m<sup>3</sup> für einen TS-Gehalt von 33 % angegeben. Für jeden Prozentpunkt, um den ein Trockensubstanzgehalt von 33 % überschritten wird, wird eine Steigerung der Lagerungsdichte um 10 kg TS/m<sup>3</sup> gefordert (LEURS 2005).

Eine Faustzahl besagt, dass die Bergeleistung in Tonnen Frischmasse je Stunde geteilt durch den Faktor 3 bis 4 das Mindestwalzgewicht ergibt (NUSSBAUM 2007). Das würde bedeuten, dass bereits bei einer Stundenleistung von 40 t FM/h ein Walzgewicht von 10 bis 13 t erforderlich ist.

Die Häcksellänge beim Silomais sollte 5 bis 8 mm betragen (WYSS 2007). Je trockener der Mais ist, desto kürzer sollte gehäckselt werden. Zwei bis drei Überfahrten pro aufgetragener Häckselgutschicht mit einer Geschwindigkeit von 2 bis 4 km/h sind anzustreben. Eine hohe Verdichtung wird nach NUSSBAUM (2007) erreicht durch:

- hohen Reifendruck
- dünne Schichten (max. 30 cm frisch eingebracht)
- dreimalige Überfahrt je Schicht und Stelle
- 2 – 3 Minuten Verdichtungsaufwand je Tonne Erntegut
- Je Walzfahrzeug (bei ausreichendem Gewicht) nicht mehr als 15 - 20 t TS/h (Gras) bzw. 20 – 25 t TS/h (Silomais)
- Walzbeginn ab dem ersten Transportgespann
- 1 Stunde Walzen nach dem letzten Transportgespann

Eine Drucksteigerung kann eine zu geringe Anzahl von Überfahrten nicht kompensieren. Es ist daher eine Kombination von Drucksteigerung und einer mehrfachen Wiederholung von Verdichtungsvorgängen zu empfehlen (LEURS 2005).

### Abdeckung

Je schneller nach der Befüllung und dem Nachwalzen ein luftdichter Abschluss mittels Silofolien hergestellt wird, desto günstigere Gärbedingungen werden geschaffen. Das Risiko der Schimmelbildung und Nacherwärmung wird so vermindert. Gleichzeitig verhindert eine sorgfältige Abdeckung das Eindringen von Regenwasser (NUSSBAUM 2007).

Als Zeit für das Abdecken ist bis 1.000 m<sup>2</sup> Silogrundfläche mit ca. 8 AKh zu rechnen. Für zusätzliche 1.000 m<sup>2</sup> Silogrundfläche sind ca. 6 AKh zu berücksichtigen (LFL 2007). In diesen Eckwerten sind die Unterziehfolie, Siloschutzgitter, Sandsäcke und Seitenrandfolie inkludiert. Beim Verzicht auf eine Abdeckung mit einer Folie, wie es beim Silieren von nachwachsenden Rohstoffen teilweise praktiziert wird, treten enorme Energieverluste auf. Die ökonomischen Verluste sind deutlich höher als der Aufwand für Silofolie und Arbeit (NUSSBAUM 2007). Versuche mit der Einsaat von Roggen belegen, dass dies zu erheblichen Siliverlusten führt, da durch eindringendes Niederschlagswasser eine starke Auswaschung festzustellen ist und kein sofortiger Luftabschluss realisiert wird (REINHOLD, & PEYKER 2007). In Abbildung 20 wird eine Möglichkeit der Folienabdeckung von Fahrsilos dargestellt.

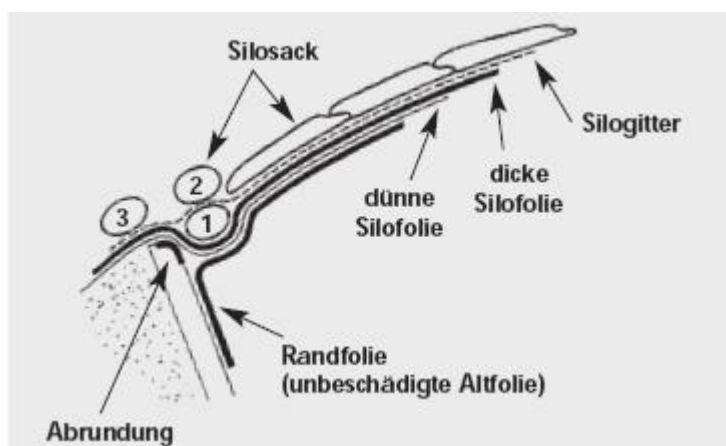


Abbildung 20: Abdeckung von Silos (KASAL ET AL. 2003)

### Gärsaftanfall

Die täglich anfallende Gärsaftmenge ist umso geringer, je höher der Trockensubstanzgehalt ist. Das Siliergut sollte mehr als 30 % TS (Gras und Silomais) aufweisen, um Gäräfte zu verhindern (STMLF 2004). Häckseln beschleunigt die Gärsaftbildung. Das Auftreten von Sickersaft bei Silos ohne Überdachung kann vermieden werden, wenn der Futterstock inklusive der nicht genutzten Silowandteile bis auf die Silomauerkrone vollständig mit Folien abgedeckt wird (STMLF 2004).



Tabelle 6: Anhaltswerte für den Gärsaftanfall, (STMLF 2004)

Futterart	Ertrag [dt FM/ha]	Trockensubstanzgehalt [%]	Gärsaftanfall	
			Insgesamt [m³/ha]	Höchstmenge je Tag [m³/ha und d]
Silomais				
milchreif	450 - 550	25	5 - 6	1 - 1,5
teigreif	400 - 500	> 30	0	0
Gras, Klee				
frisch	250 - 300	20	6 - 7	1 - 1,5
angewelkt	170 - 200	> 30	0	0

<sup>1</sup>... Innerhalb der ersten 10 Tage nach der Befüllung.

Gärfuttersilos müssen sicherstellen, dass anfallender Silagesickersaft nicht in Vorfluter, ins Grundwasser oder in die Kanalisation gelangt. Auf Fachsilos wirken verschiedene Kräfte ein, was zu einer Beschädigung und damit zu einem Wartungsaufwand führen kann (KLOSE 2000):

- chemisch: Silagesickersäfte
- mechanisch: Schlepper und Schneidgerät
- physikalisch: Frost

### Entnahme der Silage

Die Entnahme der Silage erfolgt in der Regel mittels Rad- oder Frontlader. Pro Arbeitstakt werden je nach Schaufelgröße im Durchschnitt ca. 0,8 bis 4 m³ Silage entnommen und in einen Vorlagebehälter eingebracht. Empfehlungen, die Anschnittfläche bei der Entnahme möglichst sauber zu gestalten, können durch Silozangen und Silolockschneider realisiert werden.

Tabelle 7 zeigt den Arbeitszeitbedarf pro t Silage bei unterschiedlichen Dichten der Silage und verschiedenen Transportentfernungen. Bei gehäckselter Grassilage ist die Schnittgeschwindigkeit der Schneidzange gleich groß wie bei Maissilage. Die Unterschiede im angeführten Arbeitszeitbedarf ergeben sich daher aus der unterschiedlichen Dichte und den Transportwegen. Beim Beschicken der Anlage mittels Schaufeln wurde bei gleichem Nennvolumen ein um rund 10 bis 20 % höherer Arbeitszeitbedarf beobachtet als bei Schneidzangen und Greifzangen. Der Grund war die teilweise Auflockerung der Silage. Zu der Schwankungsbreite kommt es, da das optimale Befüllen der Schaufel mehr Geschick von der Bedienungsperson des Traktors bzw. Laders erfordert.

Tabelle 7: Arbeitszeitbedarf für das Transportieren von Silage mit Schneidzangen vom Flachsilo zum Vorlagebehälter

Entfernung Flachsilo – Vorlagebehälter [m]	Silage – Lagerungsdichte (30 % Trockensubstratgehalt, Füllgrad der Zange 90 %)	Arbeitszeitbedarf [min/t FM]		
		Traktor mit Frontlader, Schneidzange mit 1,1 m³	Radlader oder Teleskoplader mit Schneidzange 2,0 m³	Radlader mit Schneidzange 3,2 m³
100	Maissilage 170 kg TS/m³	3,05	1,84	1,26
	Maissilage 250 kg TS/m³	2,08	1,25	0,85
	Grasssilage 150 kg TS/m³	3,46	2,35	1,42
	Grasssilage 200 kg TS/m³	2,59	1,57	1,07
200	Maissilage 170 kg TS/m³	4,66	2,73	1,81
	Maissilage 250 kg TS/m³	3,17	1,85	1,23
	Grasssilage 150 kg TS/m³	5,28	3,09	2,05
	Grasssilage 200 kg TS/m³	3,96	2,32	1,54

## Betongüte

Betonböden in Flach- und Hochsilos werden stark von Gärssaft angegriffen. Versuche an der FAT zeigen, dass die Beständigkeit gegenüber Gärssaft ausgesprochen von der Art des Zuschlagmaterials (Sand und Kies) abhängt. Rein kristallines Zuschlagmaterial (wie Granit) ist bedeutend resistenter als Kalkstein. Die Zementsorte spielt nur eine geringe Rolle. Alternative Zemente, die im Vergleich zum Portlandzement weniger frei verfügbaren Kalk enthalten, können die Beständigkeit des Betons kaum verbessern. Das gleiche gilt für Zusätze, wie Dispersionsmittel.

Eine interessante Alternative zum Beton ist der Asphalt. Nicht nur ist der Angriff durch Gärssaft bei Walz- und Gussasphalt geringer als bei Beton, auch die spätere Sanierung des Belags gestaltet sich einfacher. Die Beständigkeit hängt vor allem vom Bitumengehalt ab. Wird der Belag fachmännisch eingebaut, ist sowohl bei Walzasphalt als auch bei Gussasphalt die erforderliche Wasserundurchlässigkeit gewährleistet. Laut Untersuchungen an der EMPA ist Gärfutter in Kontakt mit Asphalt physiologisch unbedenklich. Walzasphalt in einschichtigem Einbau verursacht über die gesamte Lebensdauer der Bodenplatte betrachtet die geringsten Gesamtkosten (VAN CAENEHEM ET AL. 1999). Nachteilig wirkt sich aus, dass Walzasphalt nicht für den Selbstbau geeignet ist.



## Alternative Lagerungssysteme für Energiepflanzen

Neben der Lagerung in Fahrsilos können Energiepflanzen auch in Siloballen, Siloschläuchen und Hochsilos siliert und gelagert werden. Diese Systeme haben sich jedoch bei der Gärfutterbereitung für Biogasanlagen nicht durchgesetzt. Untersuchungen an österreichischen Biogasanlagen zeigten, dass der mit 89 % der Anwendungsfälle beim Großteil der Biogasanlagen die Energiepflanzen in Fahrsilos konserviert wurden (HOPFNER-SIXT ET AL. 2007).

Schlauchsilos bieten die Möglichkeit ohne große bauliche Maßnahmen ein Lagersystem zu installieren. Es empfiehlt sich jedoch einen befestigten Untergrund zu wählen, um bei etwaigen Rissen in der Folie die austretenden Säfte auffangen zu können. Ein befestigter Untergrund z.B. eine Siloplatte hat weiterhin den Vorteil, dass die benötigten Maschinen zur Ein- und Auslagerung problemlos an das Material herankommen und ein sauberer Untergrund gewährleistet wird. Es gibt nur einige wenige Firmen, welche Systeme zur Schlauchsilierung anbieten. Als Richtwert wurde ein Nettopreis von 2,70 €/t FM bei einem Lohnunternehmer erhoben.

Hochsilos würden die Möglichkeit bieten, dass das Einbringen des Substrates in den Fermenter voll automatisiert wird. Hochsilos werden jedoch für die Lagerung von Energiepflanzen auf Biogasanlagen kaum eingesetzt. Bei einer 500-kW-Biogasanlage kann von einem benötigten Siloraum von ca. 18.000 m<sup>3</sup> ausgegangen werden. Bei einem Vergleichsangebot konnte ein Hochsilo mit 1.200 m<sup>3</sup> Lagerraum ermittelt werden. Um also die erforderliche Menge einzulagern, wären bis zu 15 dieser Hochsilos zu installieren. Für die Befüllung ist eine auf die Erntemaschinen abgestimmte Einbringtechnik erforderlich, die von Lohnunternehmern angeboten werden könnte. Zum Einsatz können verschiedene Systeme, wie Gebläse und Elevatoren kommen. Es ist zu beachten, dass die Höhe des Silos die zu installierende Leistung des Gebläses bzw. des Elevators beeinflusst.

Als Austragssysteme kommen Oben- und Untenentnahmefräsen zum Einsatz. Obenentnahmefräsen, haben den Vorteil, dass sie bei Störungen schnell ausgebaut werden können. Ein großer Nachteil ist, dass das zuletzt eingebrachte Material zuerst aus dem Silo entnommen wird. Dem steht die Untenentnahmefräse gegenüber, welche immer die älteste Silage abfräst (first in - first out) und dadurch die Möglichkeit eröffnet den Silo von oben neu zu befüllen. Nachteilig auf die Wartungsarbeiten können sich Anfälligkeiten der Untenentnahmefräse bei auftreten von Gärsaft auswirken. Im Störfall ist zudem eine Zeit für den Aus- und Einbau der Fräse von jeweils ca. 2 h zu beachten.

Zu beachten ist die Abstimmung des Hochsilos auf die gängigen Längen der Fräsarme. So ist der Durchmesser von Hochsilo von 8 bis 8,5 m als Maximum anzusehen. In einem Musterangebot konnten folgende Eckpunkte für ein Hochsilo erhoben werden:

- Bruttoinhalt ca. 1.200 m<sup>3</sup>
- Silodurchmesser 7,70 m
- Zylinderhöhe 25,27 m
- Gesamthöhe 26,81 m
- Dach emailliert / Edelstahlausführung
- Untenentnahmefräse (10 kW ) + Trog + Boden

Hochsilos eignen sich für eine automatisierte Entnahme der Silage und könnten so den Automatisierungsgrad der Biogasanlage steigern. Zu beachten, sind jedoch die hohen Investitionskosten gegenüber anderen Lagerungsarten. Die Kosten inklusive Entnahmetechnik belaufen sich auf ca. 145 €/m<sup>3</sup> Lagerraum.

Für die verschiedenen Lagersysteme konnten die in Tabelle 8 aufgeführten Anhaltswerte festgestellt werden. Die Kosten für ein Hochsilosystem sind mit Abstand die höchsten und die für Siloplatten am geringsten.

Tabelle 8: Anhaltswerte für die Kosten der Substratlager

Siloplatte	54	€/m <sup>2</sup>
Flachsilo	68	€/m <sup>3</sup>
Hochsilo	145	€/m <sup>3</sup>

Als Kosten für den Transport und die Entnahme der Silage aus einem Flachsilo kann von einem Wert zwischen 1,10 und 1,15 €/ t FM Maissilage und von ca. 2 €/ t FM Grassilage ausgegangen werden.

Die geringsten jährlichen Kosten der untersuchten Silosysteme (Traunsteinsilo, Siloplatte, Hochsilo und Schlauchsilos) weist die Siloplatte aufgrund der geringsten Investitionskosten auf. Die Silierung in einem Schlauchsilos ist zwar noch günstiger, wird allerdings ein befestigter Untergrund mit eingerechnet, liegen die jährlichen Kosten im Bereich des Traunsteinsilos. Zudem ist die Pressleistung bei der Siloschlauchsilierung von rund 350 m<sup>3</sup>/h bei Einsatz von großen Feldhäckslern nicht ausreichend und führt zu Engpässen in der Silierkette. Vor allem bei der Ernte von Silomais, Sonnenblumen und Hirse mit einem großen Feldhäcksler sollten zwei Geräte zur Verpressung des Erntegutes zur Verfügung stehen.

Die Kostenvorteile bei der Einbringung und Entnahme in einem Hochsilosystem (je 1.200 m<sup>3</sup>) können die hohen Investitionskosten nicht kompensieren. Die jährlichen Kosten einer Hochsilanlage liegen um 10 bis 20 % über denen des Traunsteinsilos.

Trotz des höheren Siloraumbedarfes bei einem reinen Silomaiseinsatz, können kaum Unterschiede zum Einsatz von mehreren Kulturen in den jährlichen Kosten festgestellt werden. Niedrigere Befüllungs- und Entnahmekosten gleichen die höheren Kosten von der Investition aus. Eine Übersicht ist in Abbildung 21 gegeben.

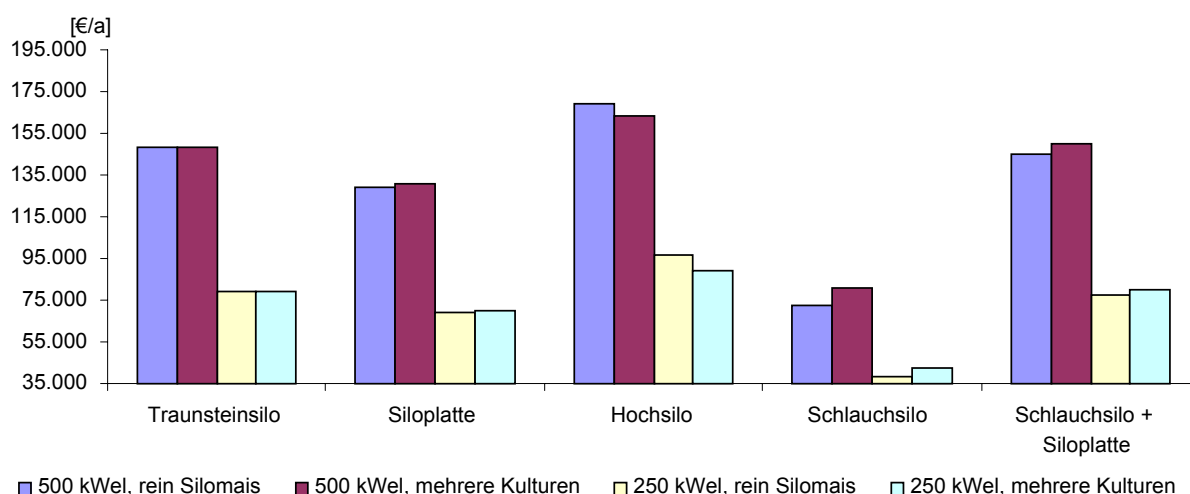


Abbildung 21: Jährlichen Gesamtkosten unterschiedlicher Silosysteme [€/Jahr]

## 2.3 Schlussfolgerungen

Die Lagerung der Gärsubstrate sollte nach der ökonomischen Berechnung auf Siloplatten erfolgen. Geringfügig höhere jährliche Kosten sind bei Traunsteinsilo bzw. Schlauchsilo mit Siloplatte zu erwarten.

Die Abdeckung der Silos mit Folien wird empfohlen, um die Verluste während der Lagerung zu minimieren und den Sickersaftanfall zu minimieren bzw. ganz zu unterbinden.

## 3. Einbringung der Substrate

*Autor: A. Ritzmann*

Eine Biogasanlage besteht neben dem Fermenter, in dem die eigentliche Methanisierung und damit der Hauptteil der Biogasbildung stattfinden, aus einer Reihe vor- und nachgelagerter Anlagenteile.

Flüssige Substrate (Gülle) werden in der Regel in Vorratsbehältern gelagert und über Pumpstationen in den Fermenter gepumpt. Mit Rad- oder Frontladern werden die Feststoffe (Maissilage, Grassilage) zur Feststoffeinbringung transportiert. Automatisierbare, gewichts- und durchflussgesteuerte Einbringsysteme ermöglichen ein regelmäßiges, exaktes Zudosieren der für den Biogasprozess notwendigen Substratmengen.

Der Vergärung nachgelagerte Anlagenteile stellen die Lagerung und Verwertung der beiden Endprodukte dar. Das Biogas wird im Gasspeicher zwischengelagert und in der Regel in Blockheizkraftwerken (BHKW) verstromt. Der Gärrest wird im Endlager bis zur Ausbringung als Dünger auf den Feldern zwischengelagert. In Abbildung 22 werden die einzelnen Anlagenteile einer Biogasanlage dargestellt.

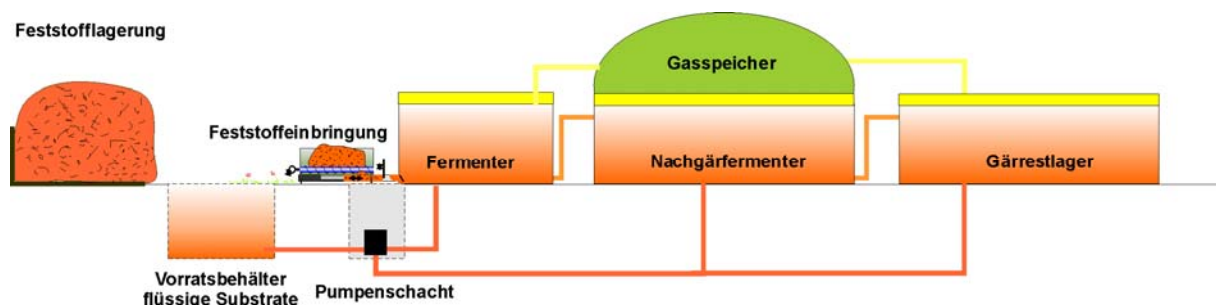


Abbildung 22: Schema einer modernen Biogasanlage

### 3.1 Einbringung flüssiger Substrate

Für den Transport pumpfähiger Substrate innerhalb der Biogasanlage werden hauptsächlich von Elektromotoren angetriebene Pumpen eingesetzt. Im Idealfall sollte die Beschickung der Fermenter kontinuierlich erfolgen, um einen stabilen Gärprozess garantieren zu können. Nachdem dies in der Praxis kaum realisierbar ist, wird der Substratstrom in der Regel quasikontinuierlich über mehrere Dosen am Tag verteilt eingespeist. Der Pumpvorgang lässt sich über Zeitschaltuhren oder Prozessrechner ganz oder teilweise automatisieren.

Die Pumpen zur Substratförderung müssen besondere Eigenschaften aufweisen, da die Gülle oftmals Einstreu sowie Futterreste enthält. Bei der Auswahl geeigneter Pumpen sind hinsichtlich Leistung und Fördereigenschaften vor allem die eingesetzten Substrate und deren Aufbereitungsgrad bzw. Trockensubstanzgehalt ausschlaggebend. In landwirtschaftlichen Biogasanlagen kommen im Bereich der Pumptechnik hauptsächlich

Kreiselpumpen und Verdrängerpumpen, welche auch in der Gülletechnik Anwendung finden, zum Einsatz. Zum Schutz der Pumpen können Schneid- und Zerkleinerungsapparate sowie Fremdkörperabscheider direkt vor die Pumpe eingebaut werden oder Pumpen, deren Förderelemente mit Zerkleinerungseinrichtungen versehen sind, zum Einsatz kommen. In Abbildung 23 werden die in Biogasanlagen zum Einsatz kommenden Pumpsysteme dargestellt.

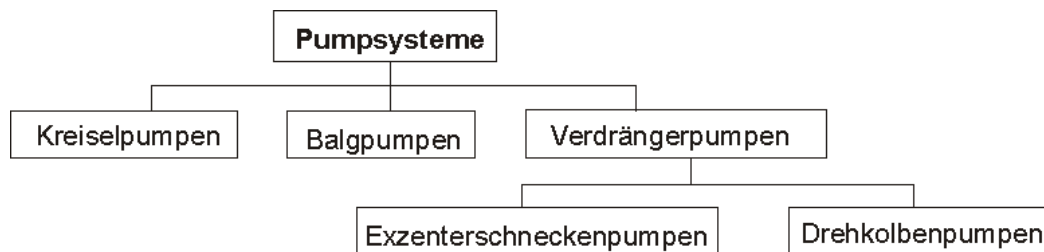


Abbildung 23: Pumpsysteme

Wegen ihrer einfachen und robusten Bauart sind Kreiselpumpen weit verbreitet. Meistens finden sich Ausführungen als ein- oder mehrstufige Pumpen zur Trockenaufstellung oder als Tauchmotorpumpe, entweder für den mobilen oder stationären Einsatz.

Balgpumpen eignen sich besonders für dickflüssige pumpfähige Substrate mit hohen Störstoffanteilen. Sie sind robust und trockenlaufunempfindlich, fördern aber im Gegensatz zu den Verdrängerpumpen nur eine geringe Menge. In Abbildung 24 ist das Funktionsprinzip einer Balgpumpe dargestellt.

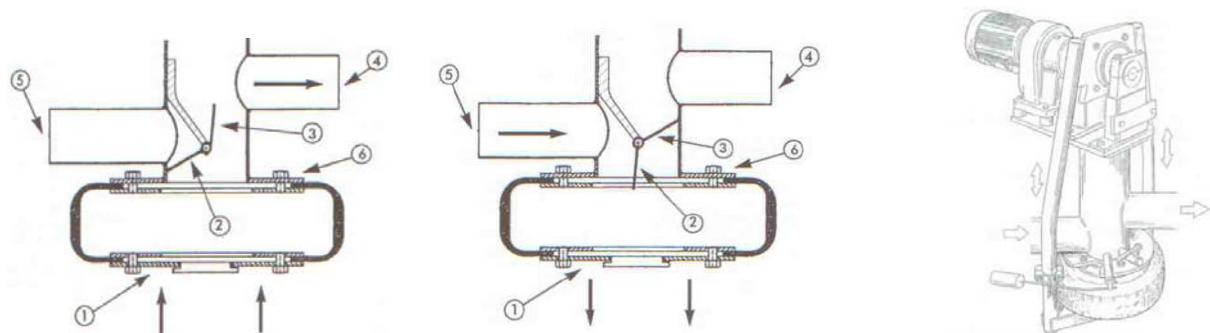


Abbildung 24: Funktionsprinzip Balgpumpe (Flansch (1), Ventile (2 & 3), Auslass (4), Einlass (5), Bilder: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co.

Wie bei der Balgpumpe können auch bei der Exzentrerschneckenpumpe dickflüssige, pumpfähige Substrate befördert werden. Im Gegensatz zur Balgpumpe ist sie jedoch nur für geringe Störstoffanteile geeignet. Die Exzentrerschneckenpumpe ist empfindlich gegen Trockenlauf und es ist darauf zu achten, dass der Störstoffanteil gering bleibt.

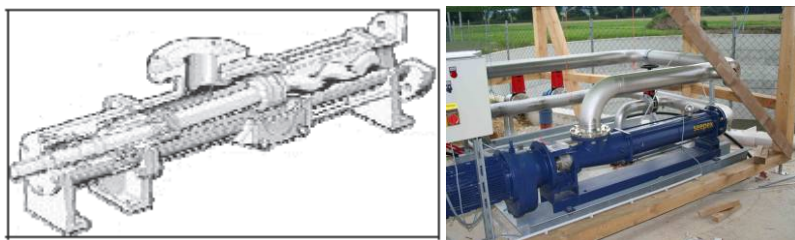


Abbildung 25: Exzenterschneckenpumpe; linkes Bild: Armattec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG

Die Drehkolbenpumpe reagiert auf Störstoffe weniger empfindlich als die Exzenterschneckenpumpe. Ein großer Vorteil sind eine hohe Förderleistung und der einfache robuste Aufbau, sowie die Unempfindlichkeit gegen Trockenlauf. In Abbildung 26 sehen Sie das allgemeine Funktionsprinzip einer Drehkolbenpumpe.

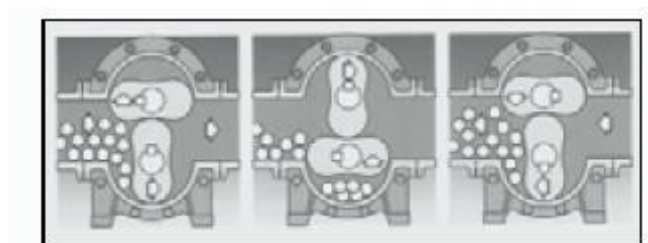


Abbildung 26: Drehkolbenpumpenprinzip, Bild: Vogelsang GmbH

### 3.2 Einbringung fester Substrate

Zunehmend werden feste Stoffe ohne Vorgrube direkt in den Fermenter eingebracht. So können nachwachsende Rohstoffe und Kofermente unabhängig von Gülle dem Gärprozess zugeführt werden. Es wird damit auch möglich, den Trockensubstanzgehalt im Gärbehälter zu erhöhen und somit dessen Produktivität zu steigern. Während zu Beginn der Direkteinspeisung einfache Systeme wie beispielsweise Einwurfschacht, Einspülschacht und Bunker mit Eintragschnecken eingesetzt wurden, setzen sich zunehmend adaptierte Futtermischwagen und Abschiebecontainer mit Wiegeeinrichtungen durch. In Abbildung 27 werden die verschiedenen Möglichkeiten der Direkteinbringung von stapelbaren Substraten dargestellt.

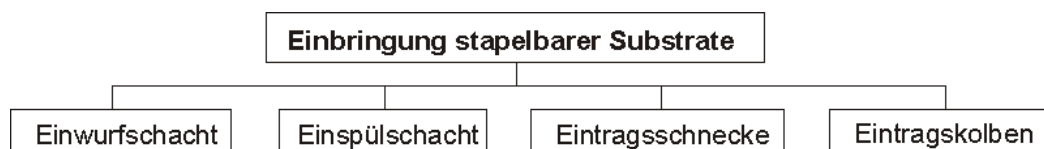


Abbildung 27. Einbringssysteme für stapelbare Substrate (Energiepflanzen)

Einwurfschächte zeichnen sich durch eine einfache Technik mit geringem baulichem Aufwand und geringen Geruchsemissionen aus. Dieses System ermöglicht jedoch keine automatische Dosierung der Beschickung, wodurch zumeist ein- bis zweimal täglich große Mengen an Substrat eingebracht werden. Die stoßweise Einbringung führt zu Temperaturschwankungen und hohen Mengen an organischer Substanz, wodurch der Gärprozess zwischenzeitlich gestört wird und es zu Schwankungen im Gasertrag kommt.

Einspülverfahren sind universell einsetzbar, besitzen eine einfache Technik und sind zuverlässig und günstig. Warme Gülle als Spülflüssigkeit erzeugt allerdings erhebliche Geruchsprobleme, was in ortsnahen Gebieten zu Problemen mit den Anrainern führen kann. Ein weiteres Problem stellt die ebenfalls stoßweise Einbringung einer großen Menge an Substrat dar, wodurch es vor allem im Winter zu einem Temperaturabfall im Fermenter kommt sowie zu einem starken Anstieg der organischen Substanz. Die Mikroorganismen reagieren stark auf Veränderungen im Prozessverlauf, wodurch es zu einer diskontinuierlichen Gaserzeugung im Fermenter kommt. Dies wirkt sich negativ auf die Methan- und Schwefelwasserstoffbildung im Biogas aus.

Bei der Einspeisung der festen Substrate mittels Eintrags- bzw. Förderschnecken wird der Feststoff durch Stopfschnecken unterhalb des im Fermenter befindlichen Flüssigkeitsspiegels gedrückt. So ist gesichert, dass kein Gas austreten kann. Im einfachsten Fall steht bei dieser Methode der Feststoffdosierer auf Höhe der Fermenterdecke, so dass nur eine Schnecke zur Einbringung notwendig ist. Ansonsten muss die Höhe des Fermenters mit Steigschnecken überwunden werden.

Das System der Feststoffeinbringung mittels Eintragskolben ist flüssigkeits- und gasdicht und universell einsetzbar. Ein hydraulisch betriebener Förderzylinder presst die Feststoffe mit bis zu 35 t in einen Druckkanal, der unter dem Flüssigkeitsspiegel des Fermenters liegt. Um zu verhindern, dass Flüssigkeit aus dem Fermenter austritt, wird nach dem Pressvorgang der Kanal mit Hilfe eines hydraulischen Schiebers wieder verschlossen. Die Feststoffeinbringung mittels Presskolben ermöglicht ebenfalls eine automatische, exakte Dosierung der Substratzugabe in beliebigen Zeitintervallen. Es besteht allerdings die Gefahr der Sinkschichtenbildung sowie Verklumpung des eingepressten Substrates, wodurch das Substrat nicht optimal zugänglich für die Mikroorganismen im Fermenter ist.



Abbildung 28: Stopfschnecke im Fermenter und Eintragskolben (rechtes Foto: Firma Schauer Maschinenfabrik GesmbH & Co KG)

Zur Beschickung der Schnecken und Eintragskolben werden Vorlagebehälter mit und ohne Zerkleinerungswerkzeuge eingesetzt. Untersuchungen über die Häufigkeit der verschiedenen Systeme zur Feststoffeinbringung haben gezeigt, dass bei über 57 % der Anlagen ein Futtermischwagen mit Schneckeneintrag eingesetzt wird (HOPFNER-SIXT ET AL. 2007). Neben dem Futtermischwagen kommen auch Abschiebecontainer und Bunkersysteme mit Kratzboden oder Schubboden als Bevorratungsbehälter zum Einsatz.

Futtermischwagen stellen eine sehr gute Möglichkeit dar, um stapelbare Substrate automatisch in kleinen Dosen über den Tag verteilt in den Fermenter einzutragen. Eine gewichtsgesteuerte Zugabe ermöglichen Wiegezellen (Abbildung 29).



Die Zugabe in den Fermenter erfolgt ohne Flüssigkeitszugabe und ist mit hohen TS-Gehalten möglich. Der Futtermischwagen wird ein- bis zweimal am Tag mittels Rad- oder Frontlader oder in selteneren Fällen mittels Hallenkran befüllt. Das Substrat wird im Inneren des Futtermischwagens durch Zerkleinerungs- und Mischaggregate ideal aufbereitet, wodurch dieses System gegenüber anderen Vorlagebehältern einen wesentlichen Vorteil aufweist.



Abbildung 29: Adaptierter Futtermischwagen mit Wiegezellen

Ebenfalls einen zeit- und gewichtsgesteuerten Eintrag in den Fermenter ermöglichen adaptierte Abschiebecontainer. Die Möglichkeit der häufigen Zudosierung kleiner Mengen wirkt sich positiv auf den Gärprozess und somit auf den Gasertrag und die Gasqualität aus.



Abbildung 30: Abschiebecontainer

Die Kosten für Schnecken sind abhängig von der zu überwindenden Höhe, der Schneckenausführung und vom Aufstellungsort des Vorlagebehälters. Für eine dreiteilige Schneckentechnik kann derzeit mit ca. 20.000 € gerechnet werden. Die Förderkapazität der Schnecken kann bis zu 15 t FM/h betragen. Die Feststoffeinzugabe mittels Eintragsschnecken ermöglicht eine exakte Dosierung der Substratzugabe in beliebigen Zeitintervallen, wobei eine Automatisierung möglich ist. Ein Verschleiß der Schnecken und eine Brückenbildung am Übergang von Vorlagebehälter zur Schnecke sind allerdings möglich.

Presskolben zeichnen sich ebenfalls durch gute Dosierbarkeit und Automatisierbarkeit aus.

Die Kosten für den Presskolben betragen zwischen 20.000 – 30.000 €. Die Förderkapazität beläuft sich auf ca. 4 t FM/h.

Tabelle 9: Vergleich der Eintragssysteme

	Eintragsschnecken	Eintragskolben
<b>Vorteile</b>	- freie Wahl des Aufstellungsortes - automatisierbar	- gute Dosierbarkeit - automatisierbar
<b>Nachteile</b>	- Abrieb in den Schneckengehäusen und an den Schnecken - mögliche Brückenbildung des Materials	- Gefahr des Verklumpens des eingepressten Materials
<b>Förderkapazität [t FM/h]</b>	ca. 15	ca. 4
<b>Kosten [€]*</b>	ca. 20.000 <sup>1</sup>	20.000 - 30.000

<sup>1</sup> ...3-teilige Schneckentechnik bei 5m Förderhöhe

Bei einer 250-kW-Biogasanlage betragen die Kosten für einen Futtermischwagen mit Wiegeeinrichtung und Eintragsschnecke ca. 60.000 €, bei einer 500 kW Anlage ca. 80.000 €. Die Stromaufnahme von Futtermischwagen beträgt je nach installierten Antriebsaggregaten ca. 2,70 kWh/t FM.

Abschiebecontainer mit Wiegeeinrichtung und Schneckeneintrag weisen bei einer 250-kW-Biogasanlage Gesamtkosten von 70.000 – 80.000 € und bei einer 500-kW-Anlage 80.000 – 100.000 € auf. Die Gesamtkosten sind abhängig von der gewählten Behältergröße und dem installierten Antriebsaggregat, sowie das gewählte Material für den Behälterbau.

Die Stromaufnahme von Abschiebecontainern beträgt ca. 1,2 – 2,3 kWh/t FM.

Die verschiedenen Vorlagebehälter bieten unterschiedliche Vor- und Nachteile. In Tabelle 10 wurden Futtermischwagen und Abschiebecontainer vergleichend nebeneinander gestellt.

Tabelle 10: Vergleich der Vorlagesysteme

	Futtermischwagen	Abschiebecontainer
<b>Vorteile</b>	- Schneiden & Zerkleinern - Mischen	- Großes Aufnahmevermögen - geringe Bauhöhe
<b>Nachteile</b>	- Dichtigkeit bei matschigen Stoffen - Hohe Anlaufbelastung bei vollem Mischer	- Schichtbildung - ausreichende Struktur des Materials
<b>Stromaufnahme [kWh/t FM] <sup>1</sup></b>	ca. 2,7	ca. 1,2 – 2,3
<b>Fassungsvermögen [m³]</b>	< 80	< 120 (Beton), < 80 (Stahl)

<sup>1</sup> ...abhängig vom gewählter Behältergröße und Anzahl der Antriebsaggregate

Die Zahlen können aufgrund unterschiedlicher Gewichtung in der Technik und bei den Substraten im Einzelfall divergieren. Es ist daher im praktischen Fall eine Einzelbetrachtung der zu erwartenden Kennwerte durchzuführen.



### 3.3 Schlussfolgerungen

Einbringsysteme mit Hochförderschnecken weisen beträchtliche Kostenvorteile gegenüber Einbringsystemen mit Hydraulikzylindern auf. Die teurere Anschaffung des Hydraulikzylinders wird durch die höhere Nutzungsdauer nicht ausgeglichen. Die Reparaturkosten je 100 h sind zwar niedriger, durch die niedrigere Einbringleistung sind die jährlichen Reparaturkosten jedoch mehr als doppelt so hoch.

Bei einer 500 kW<sub>el.</sub> Biogasanlage ist der Schubboden mit Hochförderschnecke das Einbringsystem mit den geringsten jährlichen Kosten (rund 17.100 €/a). Bei einer 250 kW<sub>el.</sub> Biogasanlage konnten keine Einbringsysteme mit Hydraulikzylinder kalkuliert werden, hier ist der Futtermischwagen mit Hochförderschnecke das günstigste System (rund 11.200 €/a).

Wird nur Silomais als Substrat eingesetzt, kann mit 1.000 bis 2.000 € geringeren jährlichen Kosten, als bei mehreren Substraten, gerechnet werden. Dies ist auf die niedrigeren Silagemengen, die jährlich eingebracht werden müssen, zurückzuführen. In Abbildung 31 sind die jährlichen Kosten der Einbringsysteme graphisch gegenübergestellt.

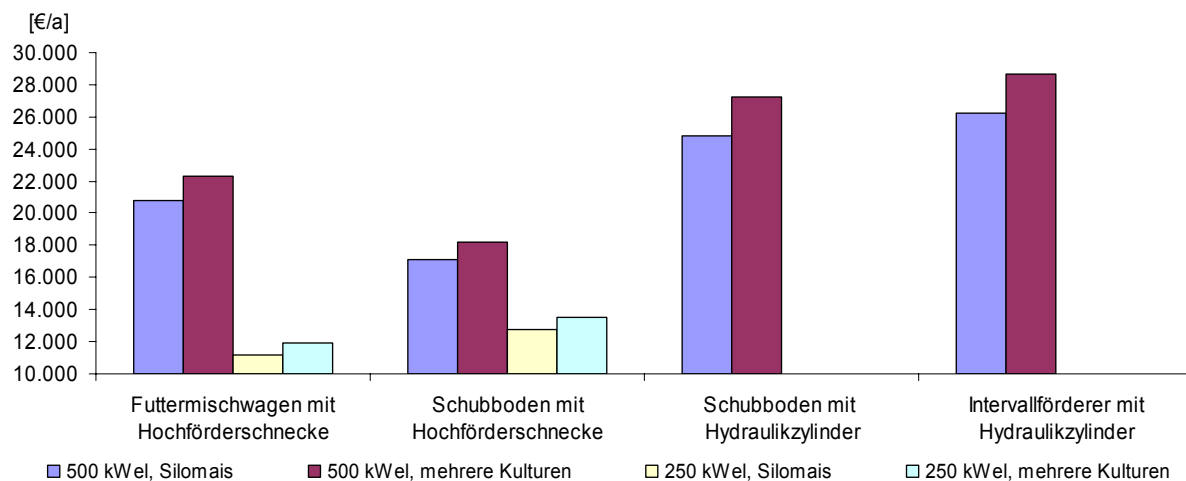


Abbildung 31: Gegenüberstellung der Einbringsysteme (jährliche Gesamtkosten in €)

## 4. Separierung des Gärrestes

*Autoren: T. Amon, K. Hopfner-Sixt, B. Amon und A. Bauer*

Der Anfall von großen Mengen an Gärrest aus der Gewinnung von Energie aus nachwachsenden Nährstoffen stellt an die Anlagenbetreiber eine nicht zu vernachlässigende Herausforderung an das Management dar. Einerseits müssen für diese Menge entsprechende Lagerkapazitäten geschaffen werden, welche sich in erhöhten Investitionskosten niederschlagen. Zum Anderen stehen gerade Betreiber von größeren Anlagen vor dem Problem, die anfallenden Nährstoffe einer richtlinienkonformen Verwertung im Pflanzenbau zuzuführen. Der enge zeitliche Rahmen, vorgegeben durch das Vegetationsstadium der Pflanzen für einen optimalen Einsatz der Gärreststoffe als Düngemittel, die flächenbezogene Beschränkung der N-Ausbringmenge von 170 kg Reinstickstoff/ha und das Ausbringungsverbot von Wirtschaftsdüngern von 15.10. bis 15.2.

auf Ackerflächen und von 15.11. bis 15.2. auf Dauergrünland zählen mit zu den begrenzenden Faktoren für die Dimensionierung einer Anlage.

Die Transportkosten bei der Ausbringung des Gärrückstandes können verringert werden, indem nach der Vergärung eine Trennung in eine feste Phase, die einen hohen Trockensubstanzanteil aufweist und nährstoffreich ist, und eine flüssige Phase erfolgt. Durch eine Konzentration der Nährstoffe ist eine Optimierung der Ausbringung nicht nur aus pflanzenbaulicher Sicht möglich, der Einsatzradius des anfallenden Düngers kann vergrößert werden und damit wird einer zu hohen Nährstoffkonzentration im näheren Umkreis der Anlage vorgebeugt, es kann dadurch eine Reduktion der Transporte erreicht werden (MØLLER ET AL. 2000). Durch die Separierung des Gärrückstandes in eine flüssige und feste Phase wird dieser in eine transportwürdige, lagerfähige und gut handhabbare Form gebracht, mit der ein Nährstoffexport preiswürdig realisiert werden kann (DOSCH 1996).

#### **4.1 Verfahren zur Separierung**

Die Verfahren zur Feststoffabtrennung wurden im Wesentlichen für die Abwasserreinigung bzw. für die lebensmittelverarbeitende Industrie entwickelt. Nach technischen Adaptionen konnten sich diese Verfahren zur Auftrennung von Substraten in eine flüssige und feste Phase im landwirtschaftlichen Bereich zur Flüssigmistbehandlung etablieren, da speziell auf Betrieben mit zu hohem Tierbestand pro Flächeneinheit der enorme Anfall von Gülle ein großes Problem darstellt.

Die Phasentrennung zwischen Feststoffen und Flüssigkeit wird durch Abscheidung der Feststoffe aus einer Suspension durchgeführt. Dafür werden z.B. Siebtrommel-, Schnecken- und Bandpressen Mischformen aus Sieb- und Druckentwässerungstechnik eingesetzt.

Neuerdings werden diese Separatorbauarten auch zur Feststoffabtrennung aus Gärrückständen bei der Biogaserzeugung aus Energiepflanzen eingesetzt, wobei es noch an Untersuchungen über Kennwerte für das Separieren von Gärrückständen der Energiepflanzenvergärung mangelt. Bei Untersuchungen von Separiertechniken von Flüssigmist im Bereich der Nutztierhaltung wurde festgestellt, dass vor allem die Wirtschaftsdüngerart erheblichen Einfluss auf technische und ökologische Kennwerte der Separiertechnik zeigte.

In der landwirtschaftlichen Praxis haben sich zur Gülleseparierung Trenntechniken mit einer Kombination aus Sieb- und Pressvorgängen etabliert. So finden auf den Betrieben neben Dekantierzentrifugen, die aus Kostengründen nur eine untergeordnete Rolle spielen, überwiegend Siebtrommel- und Pressschneckenseparator Verwendung (DOSCH 1996).

##### **Siebtrommelseparator**

Über eine Pumpe wird der Siebtrommelseparator mit Flüssigmist beschickt. Zunächst wird ein Teil der Flüssigkeit auf Grund der Schwerkraft durch das Sieb von Feststoffbestandteilen getrennt. Danach pressen mit Spezialgummi beschichtete Anpresswalzen Restflüssigkeit aus den auf dem Sieb zurückgehaltenen Feststoffen durch die rotierende Siebtrommel. Die Feststoffe bleiben auf der Trommel liegen und werden mit einem Abstreifer abgeschabt und über eine Rutsche zur Lagerstätte abgeführt. Die Dünngülle kann über den Abflusstrichter entweder in den Lagerbehälter ablaufen bzw. abgepumpt werden (Abbildung 32).

Der Trockensubstanzgehalt der Feststoffe ist durch die Anpresskraft der Druckwalzen veränderbar, weiters ist der Trennvorgang über die Maschenweite der Siebtrommel bzw. deren Umdrehungsgeschwindigkeit beeinflussbar. Siebbandpressen werden in der Praxis

verstärkt eingesetzt, weil sie funktionssicher sind und entsprechende Durchsatzleistungen bei geringen Betriebskosten aufweisen (AMON 1995).

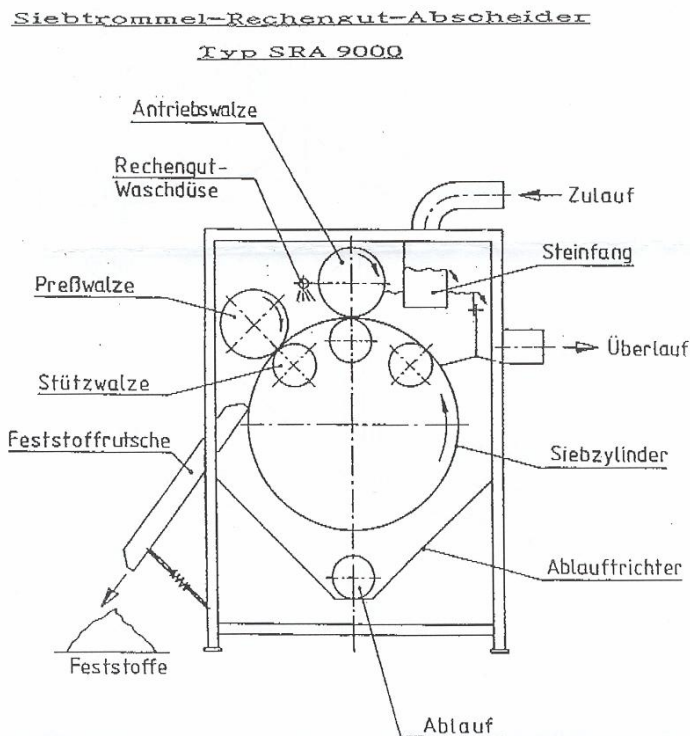


Abbildung 32: Siebtrommelseparator

### **Pressschneckenseparator**

Der Pressvorgang beim Pressschneckenseparator ergibt sich aus einer Schwerkraft- und Druckentwässerungsphase. Die Beschickung des Separators mit Flüssigmist erfolgt über ein druckloses Leitungssystem oder über einen Trichter. Mit dem Flüssigmist gelangen Feststoffpartikel unterschiedlicher Größe, Form und spezifischen Gewichtes in den Presskanal. Im vorderen Siebbereich kommt es zu einer Schwerkraftentwässerung, die durch eine Vibrationseinheit unterstützt werden kann. Der auf diese Weise vorentwässerte Feststoff bildet auf der Siebkorboboberfläche eine Filterschicht, durch die auch Teilchen, die kleiner sind als die Spaltweite des Siebes, zurückgehalten werden. Die Filterschicht wird kontinuierlich von der Pressschnecke in den hinteren Siebbereich befördert. In dieser so genannten Presszone bildet sich ein Feststoffpfropfen, der sich ständig aus nachgeschobenem Material erneuert. Die im Feststoff haftende Restflüssigkeit wird dort durch den Pressdruck am Ausstoßregler weiter entwässert (Abbildung 33).

Das Trennergebnis ist insgesamt durch die Höhe der Kraft am Ausstoßregler, die verwendete Schlitzweite des Siebkörpers, die Schneckendrehzahl und die durch den Vibrator erzeugten Schwingungen beeinflussbar.

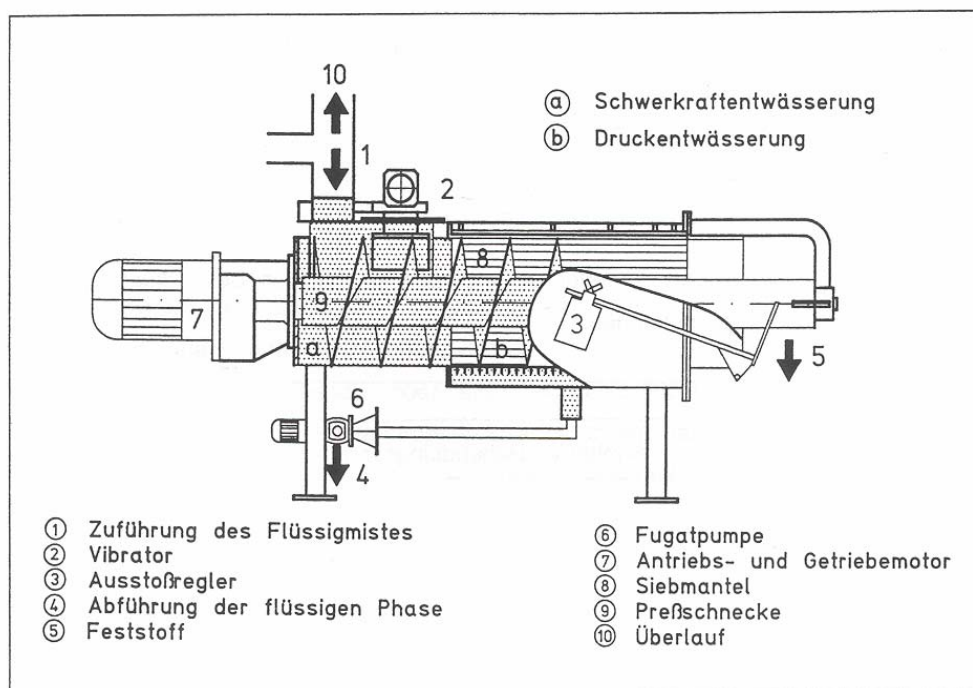


Abbildung 33: Pressschneckenseparator

## 4.2 Verfahrenstechnische Leistung der Separatoren

Von AMON (1995) wurden Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen mit Siebbandtrommelseparatoren bezüglich Durchsatz und Energiebedarf zusammengefasst. Die vorhandenen Ergebnisse zeigen, dass der Trockensubstanzgehalt des unbehandelten Flüssigmistes den Trockensubstanzgehalt der flüssigen Phase und den Durchsatz beeinflusst. Mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt des unbehandelten Flüssigmistes steigt der TS-Gehalt in der flüssigen Phase und gleichzeitig sinkt der Durchsatz, wobei Rindermist diesbezüglich stärkere Wirkung zeigt.

Laut Amon (1995) liegen in der Literatur und bei Verfahrensbeschreibungen zu Pressschneckenseparatoren begründete Hinweise vor, dass von technischer Seite ein erhebliches Potential zur Veränderung der Nährstoffzusammensetzung der flüssigen und festen Phase gegeben ist und somit von technischer Seite her die theoretische Möglichkeit besteht eine pflanzenbaulich gewünschte Nährstoffzusammensetzung herzustellen.

Bei einem Vortrag über Nachwachsende Rohstoffe in Biogasanlagen fasste MATTHIAS (2004) die Kennwerte verschiedener Separierverfahren zusammen (Tabelle 11).

Tabelle 11: Kennwerte verschiedener Separierverfahren

	Siebtrommelpresse (Südtech, Loch 3,2 mm)		Siebschneckenpresse (FAN, Spaltenweite 0,75 mm)	
	Rindergülle	Schweinegülle	Rindergülle	Schweinegülle
Abscheidgrad für				
Gesamt-N (%)	16-25	9-11	10-28	5-10
Gesamt-P (%)	16-27	7-20	13-27	7-20
Durchsatz (m³/h)	6,1	13,2	6,7	10,2
Energie (kWh/m³)	0,32	0,08	0,31	0,18

Rindergülle (ø 8%; 6-9%), Schweinegülle (ø 6%; 4-7%)

Bei Pressschneckenseparatoren kann durch die Wahl der Siebweite im Presskorb und der Einstellung des Gegendruckes der Abpressgrad, d. h. der Anteil an Feststoffpartikeln im Flüssigmist beeinflusst werden und der Presskuchen wird je nach Zusammensetzung einen TS-Gehalt von bis zu 35% haben. Beim Abpressen nach der Hydrolyse und bei Wahl eines höheren Gegendruckes wird die Geruchsbelästigung aus dem Presskuchen gering sein.

Die Vergleichbarkeit der Kosten für die verschiedenen Separationsverfahren gestaltete sich als schwierig, da in den einzelnen Untersuchungen die Grundvoraussetzungen zur Kostenberechnung nötigen Parameter nicht immer gleich waren.

Tabelle 12: Verfahrenskosten verschiedener Flüssigmistbehandlungsverfahren

Verfahren	Verfahrenskosten (TS/m <sup>3</sup> )	Bemerkung	Autor
Siebtrommelpresse	4,5	Jahrsdurchsatz 1800 m <sup>3</sup>	REXILIUS (1990)
	0,7	7920 m <sup>3</sup>	WEBER (1987)
Siebbandpresse	2,0-2,4	1800 m <sup>3</sup>	REXILIUS (1990)
Schneckenpresse	2,3	2000 m <sup>3</sup> stationäre Anlage	JUNGBLUTH ET AL. (1994)
	4,5	2000 m <sup>3</sup> mobile Anlage	JUNGBLUTH ET AL. (1994)
	1,2-8,0	1000-10000 m <sup>3</sup>	HÜGLE (1994)

Die Kosten bei der Behandlung von 4000 t Rohgülle mit Siebseparatoren beliefen sich nach MØLLER ET AL. (2000) auf 0,44 €/t.

### 4.3 Effekte der Separierung

Aus Untersuchungen (WEILAND 2005, HOPFNER-SIXT & AMON 2005) ist bekannt, dass bei der Nutzung von Energiepflanzen die entstehenden Gärrückstände meist deutlich mehr Trockensubstanz enthalten als dies bei der früher üblichen Nutzung flüssiger Wirtschaftsdünger der Fall war. Als Folge davon liegen im Gärrückstand die Trockensubstanzgehalte auch entsprechend höher. Nicht abgebaute Trockensubstanz führt bei pflanzenbaulicher Nutzung des Gärrückstandes zu einer Reihe von Nachteilen:

Es treten verstärkt Schwimmschichten während der Lagerung des Gärrückstandes auf. Die Schwimmschichten können darüber hinaus auch zu technischen Störungen in Fermenter- und Substratleitungssystemen von Biogasanlagen führen.

Der Energieaufwand zum Homogenisieren und Pumpen von gelagerten Gärrückständen steigt mit dem Trockensubstanzgehalt im Gärrückstand überproportional (HÜBENER 1985).

Bei der weiteren Verwendung trockensubstanzreicher Gärrückstände als organischer Dünger treten verstärkt Ammoniakverdunstung, N-Immobilisation und Denitrifikation auf, welche in Folge den ansonsten hochwertigen Dünger in seiner Wirkung mindern. (JUNGBLUTH ET AL. 1994, GRIESER 1994, VILSMEIER UND GUTSER 1989, THOMPSON ET AL. 1987, PAUL UND BEAUCHAMP 1989, DOSCH 1996).

Zur Verbesserung der Düngewirkung durch trockensubstanzreduzierte flüssige Wirtschaftsdünger sind eine Reihe von Effekten in verfahrenstechnischer und pflanzenbaulicher Hinsicht bekannt, die in Tabelle 13 angeführt sind.

Tabelle 13: Effekte trockensubstanzreduzierter flüssiger Wirtschaftsdünger

Bereich	Beurteilungskriterien	Separieren
Lagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sink- und Schwimmschichtbildung</li> <li>• Energieverbrauch für Pump- und Mischvorgänge</li> <li>• Emission klima- und ökosystemrelevanter Gase (NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)</li> </ul>	stark verringert verringert
Während und nach der Ausbringung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transportaufkommen</li> <li>• Intensität mikrobieller Ab- und Umbauvorgänge im Boden</li> <li>• Ammoniakverluste</li> <li>• Technischer Aufwand für die Ausbringung</li> </ul>	leicht verringert verringert verringert
Düngung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grad der mineraldüngeräquivalenten Anwendung</li> <li>• N-Immobilisation im Boden</li> <li>• Denitrifikation im Boden</li> <li>• Ammoniakverluste</li> </ul>	verbessert verringert verringert verringert

Je höher die Abscheidung des TS- und Kohlenstoffgehaltes über den Feststoff, desto dünnflüssiger und kohlenstoffärmer ist das Separat. In Abbildung 34 ist die Auswirkung der Separation von Rindergülle bei einem Abscheidungsgrad von 10% ersichtlich. 49% des Kohlenstoffes wandern in die feste Phase, 92% des in der Gülle enthaltenen NH<sub>4</sub>-Stickstoffes befinden sich in der flüssigen Phase. Daher nimmt der C/N-Quotient der flüssigen Phase gegenüber der Rohgülle ab, der des Feststoffes jedoch zu (DOSCH 1996).

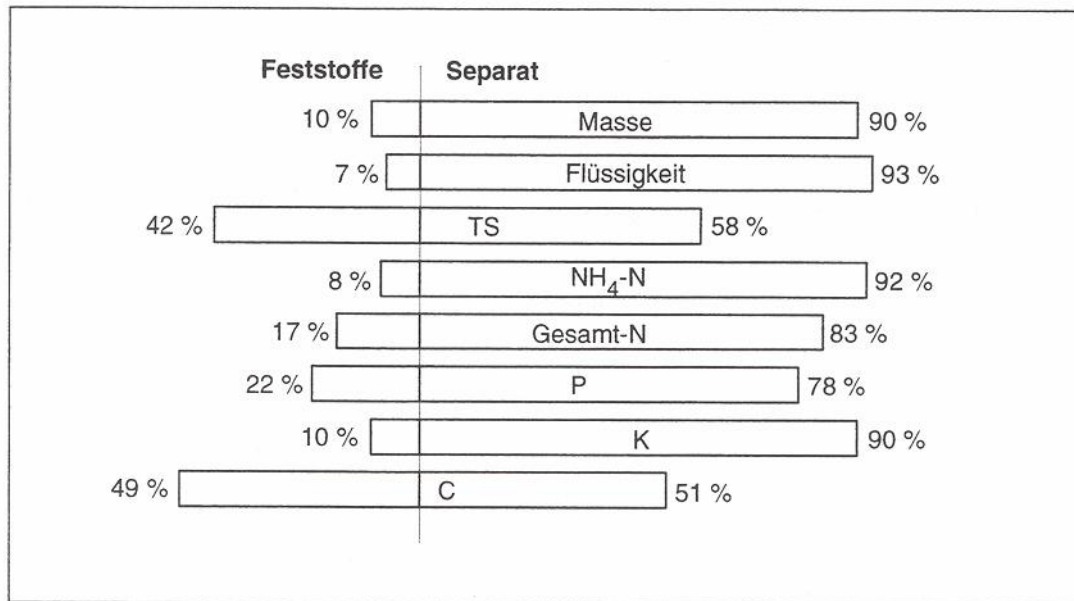


Abbildung 34: Abscheidegrad eines Pressschneckenseparators bei der Separierung von Rindergülle (nach BOXBERGER ET AL. 1992)

Bei einer Bewertung der Gülleseparierung auf die Düngewirkung bei Winterweizen durch DOSCH (1996), lag das Mineraldüngeräquivalent von Rohgülle bei 66, für Dünngülle bei 94. Im Grünland betrug das Mineraldüngeräquivalent für flächig ausgebrachte Rohgülle 77, für Dünngülle erhöhte sich das Mineraldüngeräquivalent auf 89.

Ebenfalls konnte DOSCH (1996) in seinen Untersuchungen nachweisen, dass unabhängig vom Pflanzenbewuchs durch die Separierung von Gülle eine Reduktion der Ammoniakemissionen um 15 bis 40% erreicht werden konnte, wobei die Ammoniakverluste im Grünland stärker vermindert werden konnten als auf Ackerland.

Durch Abtrennen der Feststoffe aus der Gülle liegt eine Dünngülle vor, die homogen und dünnflüssig ist. Verschiedene Untersuchungen sowie Praxiserfahrungen zeigen, dass die separierte Dünngülle bei der Ausbringung nicht gerührt werden muss, da die Dünngülle keine Schwimmdecken und praktisch keine Sinkschichten während der Lagerung bildet. Nach der Ausbringung fließt die Dünngülle von den Blattoberflächen ab, es kommt daher zu keinen Verätzungen und dringt schneller in den Boden ein als Rohgülle (HERSENER 2002).

#### 4.4 Ermittelte Kenndaten der Separatoren

Es wurden 2 unterschiedliche Separatortypen, ein Pressschneckenseparator und ein Siebtrommelseparator miteinander verglichen

Die geringere Durchsatz- und Abscheideleistung des Siebtrommelseparators ergeben sich dadurch, dass der Siebtrommelseparator noch nicht an die höheren TS-Gehalte und die höheren Temperaturen bei Biogasanlagen angepasst war. Bei Gülle erzielten beide Separatortypen ähnliche Ergebnisse (siehe Tabelle 11).

In Tabelle 14 werden die wichtigsten Kennzahlen der Separatoren einander gegenübergestellt.

Tabelle 14: Kennzahlen der untersuchten Separatortypen

	<b>Pressschnecke</b>	<b>Siebtrommel</b>
Messphase	14 Wochen	7 Wochen
Störungen	Nein	Ja
Laufzeit 1. Messphase	130 Stunden	176 Stunden
Laufzeit 2. Messphase	108 Stunden	34 Stunden
Anschlussleistung	3,74 kW	2,18 kW
Durchsatzleistung	15,5 t/h	10,4 t/h
Abscheideleistung	ca. 4 t/h	ca. 2,5 t/h
Kosten	17.000 €	30.000 €

In der Praxis war der Pressschneckenseparator dem Siebtrommelseparator überlegen. Die großen Vorteile beim Pressschneckenseparator lagen vor allem in der Funktionssicherheit und dem geringen Arbeitszeitaufwand der für Wartung und Betrieb benötigt wurde. In Tabelle 15 wird die Praxistauglichkeit der beiden Separatoren miteinander verglichen.

Tabelle 15: Praxistauglichkeit der beiden Separatortypen

<b>Pressschneckenseparator</b>	<b>Siebtrommelseparator</b>
<b>Geräteeinstellung:</b> Anpassung an Betriebsbedingungen möglich	<b>Geräteeinstellung:</b> Anpassung an Betriebsbedingungen möglich
<b>Wartung, Pflege:</b> keine spezielle Wartung und Pflege notwendig	<b>Wartung, Pflege:</b> regelmäßige Reinigung der Siebtrommel ist notwendig - Getriebschaden
<b>Funktionsfähigkeit</b> und <b>Funktionssicherheit</b> hoch	<b>Funktionsfähigkeit:</b> nicht geeignet für warmen Gärrückstand und höheren Fasergehalt von Energiepflanzen <b>Funktionssicherheit:</b> gering
<b>Arbeitszeitaufwand:</b> ca. 15 Minuten pro Tag	<b>Arbeitszeitaufwand:</b> ständige Aufsicht (2h)

### Separierung des Gärrückstands

Die Abbildung 35 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Trockensubstanzgehalt (TS) des Gärrückstandes und dem Anteil der flüssigen Phase nach der Separierung. Je höher der TS-Gehalt im Zulauf zum Separator ist, desto geringer ist der Anteil der flüssigen Phase. Der TS-Gehalt im Zulauf korreliert negativ zum Anteil der flüssigen Phase.



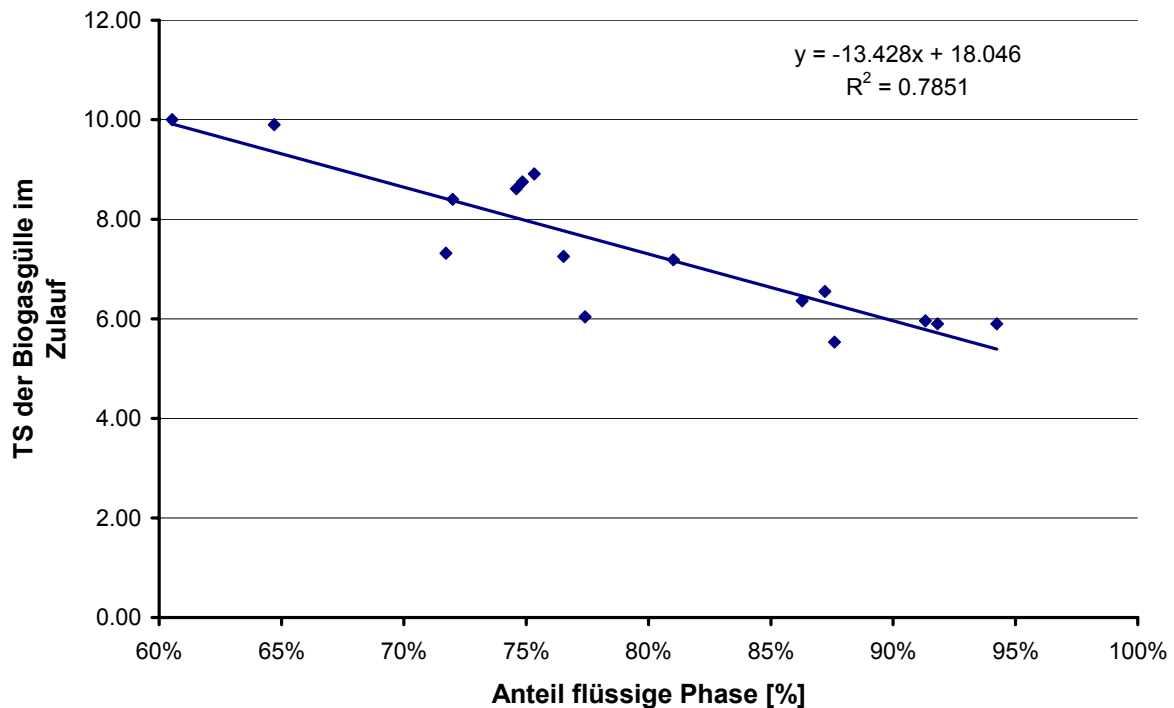


Abbildung 35: Zusammenhang zwischen dem Trockensubstanzgehalt im Zulauf und dem Anteil der flüssigen Phase

In Abbildung 36 ist die Aufteilung der Masse sowie der Inhaltsstoffe des Gärrückstandes dargestellt. Über die Feststoffe kann 21 % der Masse des Gärrückstandes abgetrennt werden. In der festen Phase kommt es zu einer Anreicherung des Trockensubstanzgehaltes. Der TS-Gehalt betrug im Zulauf zum Separator durchschnittlich 7,31 %, nach der Separierung lag der TS-Gehalt der festen Phase bei 19,3% und jener der flüssigen Phase bei 4,5 %. Im Projekt konnte festgestellt werden, dass 61,8% der im Zulauf vorhandenen Trockensubstanz in der festen Phase gespeichert werden. Die gleichen Veränderungen konnten beim oTS-Gehalt beobachtet werden. Der oTS-Gehalt im Zulauf lag bei 5,38, nahm in der festen Phase auf 16,54 % zu und in der flüssigen Phase auf 3,13 % ab. 58% der im Zulauf vorhandenen oTS sind in der festen Phase vorhanden. Die gleichen Tendenzen sind bei den Inhaltsstoffen Asche und Kohlenstoff zu erkennen.

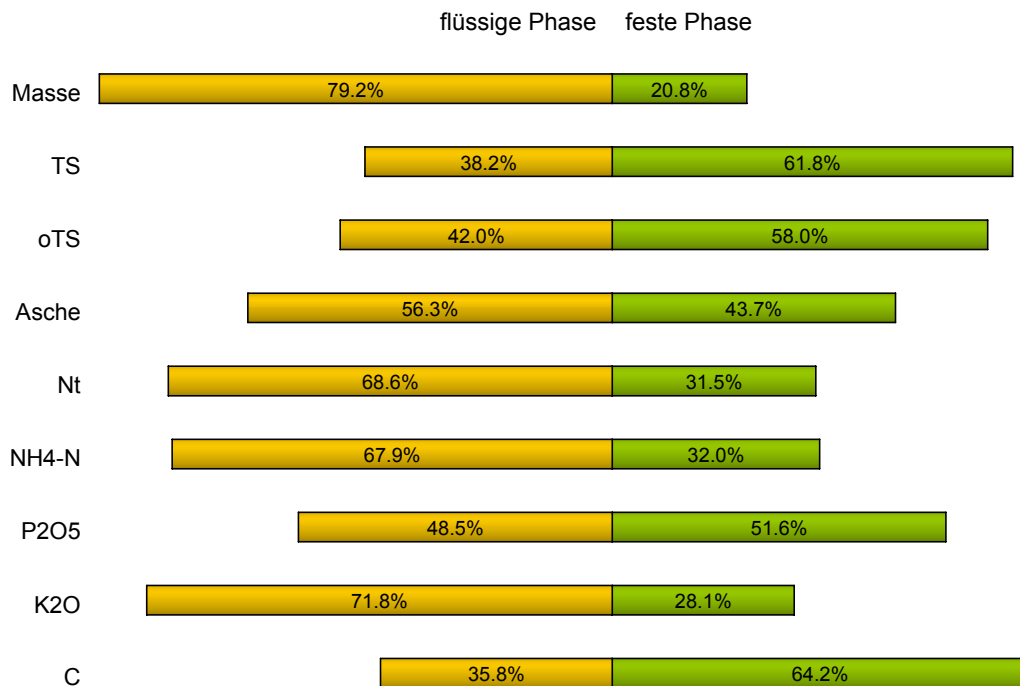


Abbildung 36: Abscheidegrad bei der Separierung von Gärrückständen

In der Abbildung 36 sind die Konzentrationen der verschiedenen Parameter (Mittelwert aller Messergebnisse der zwei Messphasen sowie der zwei Biogasanlagen) dargestellt.

Die Veränderungen der Inhaltsstoffe der festen und der flüssigen Phase sind im Detail in Abbildung 37 und Abbildung 38 abgebildet. In der festen Phase reichern sich die Trockensubstanz und die organische Trockensubstanz, der Kohlenstoff und die Rohasche, sowie das Phosphat stark an. Stickstoff und Ammoniumstickstoff haben sich dagegen nur leicht angereichert. Lediglich der Gehalt an Kalium nimmt in der festen Phase leicht ab. Konträr dazu sind die Tendenzen in der flüssigen Phase.

Alle Inhaltsstoffe der flüssigen Phase nehmen mit Ausnahme des Kaliums deutlich ab.

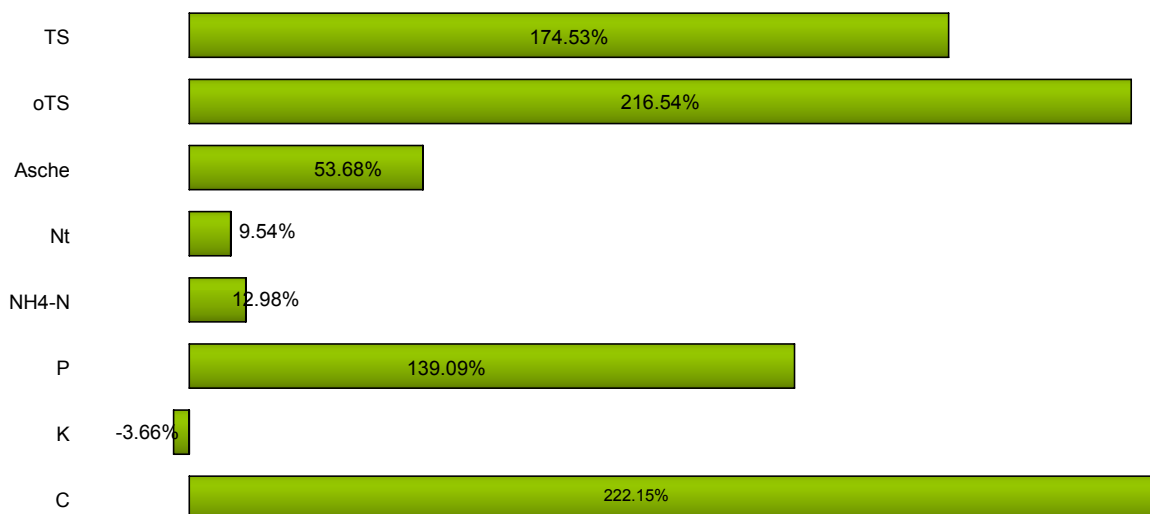


Abbildung 37: Prozentuelle Veränderung der Zusammensetzung der festen Phase nach der Separierung im Vergleich zum unbehandelten Gärrückstand.

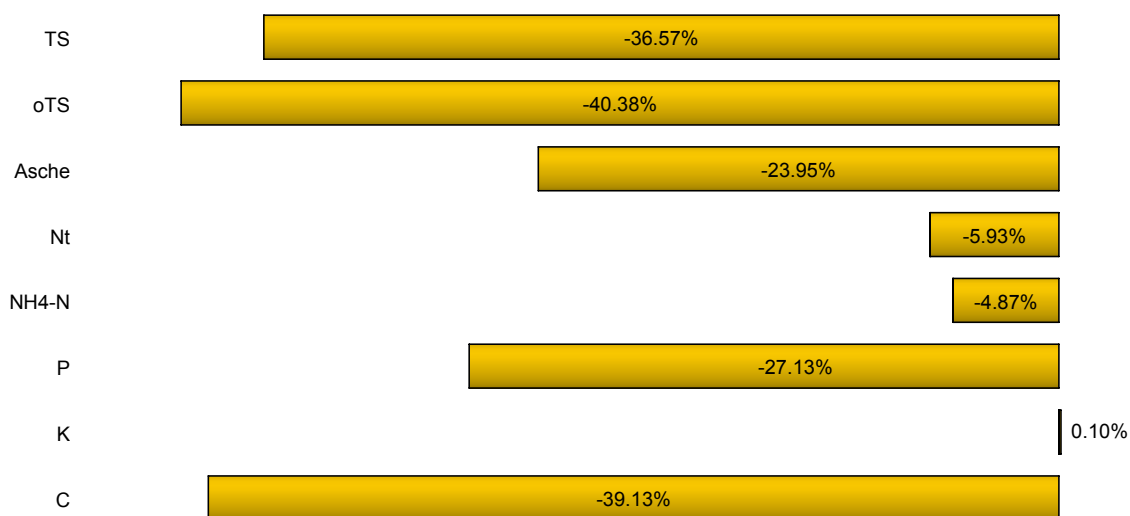


Abbildung 38: Prozentuelle Veränderung der Zusammensetzung der flüssigen Phase nach der Separierung im Vergleich zum unbehandelten Gärrückstand.

Die Zusammensetzung des unbehandelten Gärrückstandes, der flüssigen Phasen sowie der festen Phase pro Tonne Substrat und pro m<sup>3</sup> Substrat sind in der Tabelle 16 zusammengefasst.

Die Dichte des unbehandelten Gärrückstandes betrug 946 kg/m<sup>3</sup>, die der flüssigen Phase 994 kg/m<sup>3</sup> und die der festen Phase 780 kg/m<sup>3</sup>. Der Gehalt an Stickstoff, Phosphor und Kalium unterscheidet sich zwischen dem unbehandelten Gärrückstand und der flüssigen Phase nur gering.

Tabelle 16: Nährstoffgehalte pro Masse und Volumen des Zulaufs zum Separator, der festen Phase und der flüssigen Phase

	Zulauf zum Separator		feste Phase		flüssige Phase	
	pro t	pro m <sup>3</sup>	pro t	pro m <sup>3</sup>	pro t	pro m <sup>3</sup>
TS	73,1	69,2	193,1	150,6	45,0	44,8
oTS	53,8	51,1	165,4	129,0	31,3	31,0
Nt	4,2	4,0	4,6	3,6	4,0	4,0
NH <sub>4</sub> -N	2,7	2,6	3,0	2,3	2,6	2,6
P	1,2	1,1	2,5	2,0	0,9	0,9
K	3,6	3,4	3,4	2,7	3,5	3,5

Der Stickstoffgehalt und der Kaliumgehalt der festen Phase hingegen sind im Vergleich zum unbehandelten Gärrückstand deutlich niedriger. Der Gehalt an Phosphat hingegen ist in der festen Phase deutlich höher als in der unbehandelten Biogasgülle. Abbildung 39 zeigt die deutliche Erhöhung der organischen Substanz pro m<sup>3</sup>.

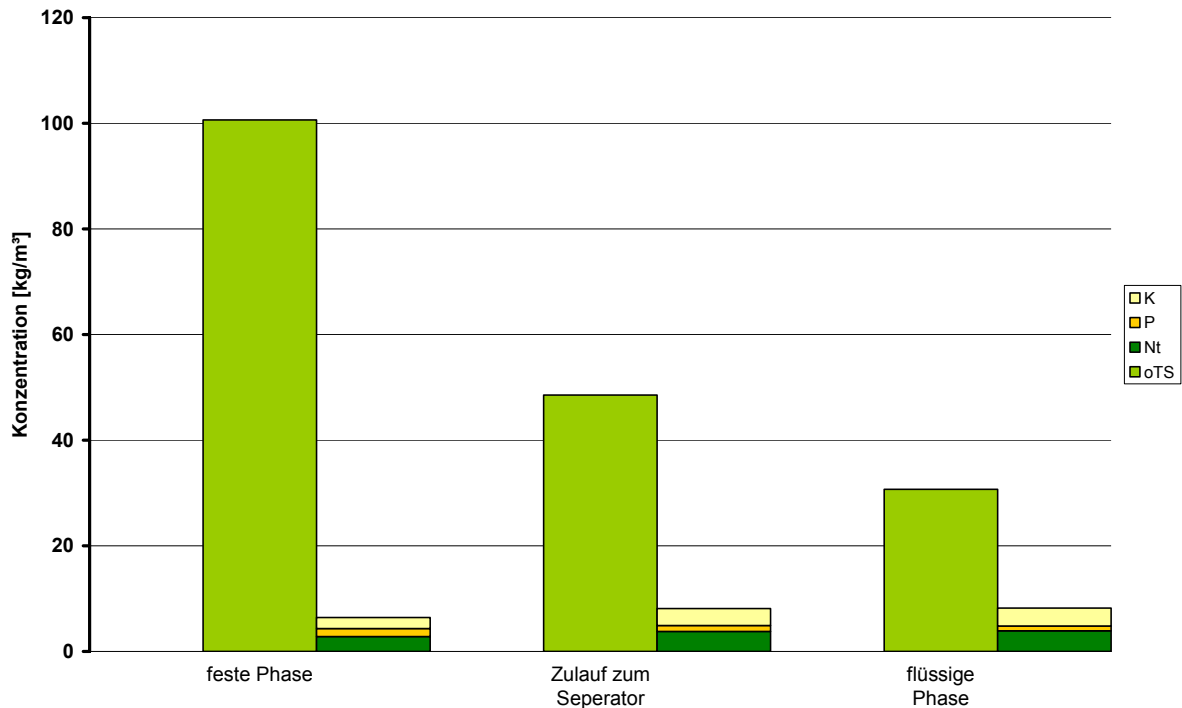


Abbildung 39: Gehalt an organischer Trockensubstanz, Stickstoff, Phosphor und Kalium pro  $\text{m}^3$  Substrat

In einem Kubikmeter unbehandelten Gärrückstand sind 69,2 kg Trockensubstanz sowie 51,1 kg organische Trockensubstanz enthalten. Nach der Separierung steigen der TS-Gehalt in der festen Phase auf 150,6 kg sowie der oTS-Gehalt auf 129,0 kg pro Kubikmeter an. In der flüssigen Phase sinken die Gehalte auf 44,8 kg Trockensubstanz und 31,0 kg organischen Trockensubstanz ab. Auch auf das Volumen bezogen zeigt der Gehalt an Phosphat eine deutliche Veränderung. Der Gehalt steigt in der festen Phase pro Kubikmeter auf 2,0 kg an und sinkt in der flüssigen Phase auf 0,9 kg ab. Der Gesamtstickstoffgehalt liegt mit  $3,6 \text{ kg/m}^3$  in der festen Phase um 0,4 kg niedriger als im unbehandelten Gärrückstand während in der flüssigen Phase keine Veränderung im Vergleich zum Zulauf festgestellt wurde. Der Gehalt an Kalium sinkt von  $3,4 \text{ kg/m}^3$  im Zulauf auf  $2,7 \text{ kg/m}^3$  in der festen Phase ab.

In Abbildung 40 ist die Aufteilung der Makro- und Mikronährstoffen dargestellt. Die Grundlage für diese Berechnung sind Proben der Biogasanlage Utzenaich. Über die Feststoffe wurden bei diesem Vergleich 11 % der Masse des Gärrückstandes abgetrennt. Der Trockensubstanzgehalt lag in der festen Phase bei 21,24 % und in der flüssigen Phase bei 4,5 %. Die Nährstoffe Kalzium, Magnesium Eisen und Mangan werden in der festen Phase, Kupfer wird in der flüssigen Phase angereichert. Bei Zink konnten keine Veränderungen gemessen werden.

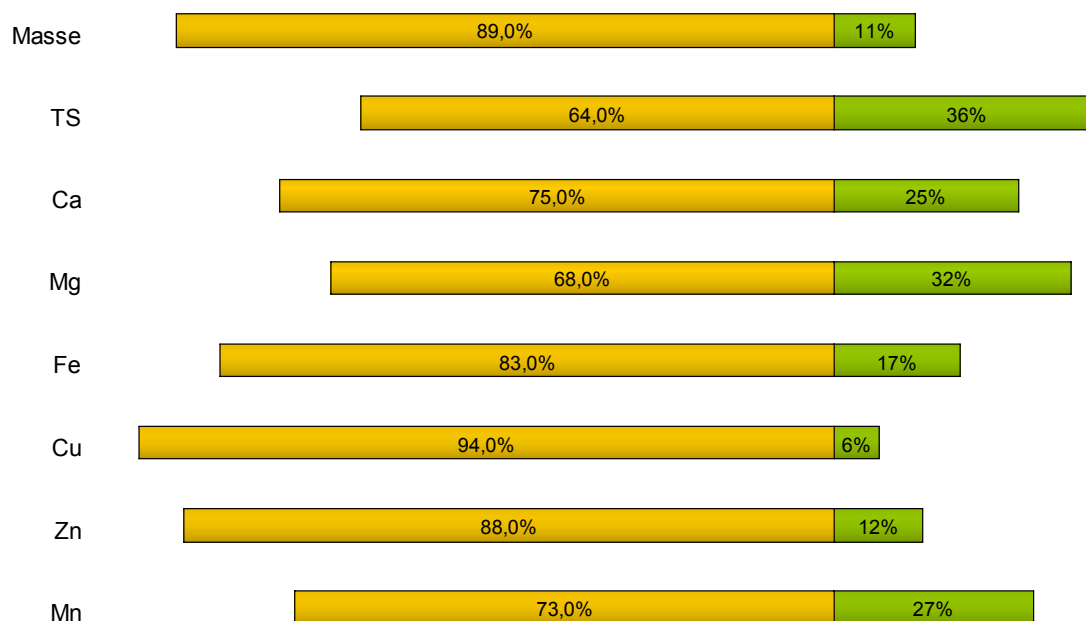


Abbildung 40: Einfluss der Separierung auf den Gehalt von Makro- und Mikronährstoffen

## 4.5 Schlussfolgerungen

Für den Einsatz von Separatoren auf Biogasanlagen zeigt sich, dass der Pressschneckenseparator aufgrund der höheren TS-Gehalte eindeutig besser geeignet ist als der Siebtrommelseparator. Besonders die hohen Durchsatzleistungen und die guten Abscheidegrade sprechen für den Pressschneckenseparator. Weitere Vorteile sind der geringe Arbeitszeitbedarf während des Betriebs und die Wartungsfreundlichkeit. Um mit dem Siebtrommelseparator ähnliche Ergebnisse zu erreichen, müssten vor allem die Kunststoffdruckwalze und das Trommelsieb an die in modernen Biogasanlagen vorherrschenden substratspezifischen Gegebenheiten, vor allem Temperaturen und TS-Gehalt angepasst werden.

Der Abscheidegrad bei der Separierung der Gülle ist von den TS-Gehalten der Gärrückstand abhängig. Je höher der TS-Gehalt ist, desto höher ist der Anteil der festen Phase nach der Separierung. Die Trockensubstanz, die organische Trockensubstanz und damit zusammenhängend der Kohlenstoffgehalt sowie die Rohasche und das Phosphat werden - bezogen auf die Masse - in der festen Phase stark akkumuliert. Der Stickstoff sowie der Ammoniumstickstoff werden in der festen Phase mit 10 bzw. 13 % leicht angereichert. Lediglich der Gehalt an Kalium nimmt in der festen Phase leicht ab.

Die Nährstoffgehalte pro Kubikmeter werden durch die Separierung folgendermaßen verändert:

- Der Gesamtstickstoffgehalt liegt mit 3,6 kg/m<sup>3</sup> in der festen Phase um 0,4 kg niedriger als im unbehandelten Gärrückstand während in der flüssigen Phase keine Veränderung im Vergleich zum Zulauf festgestellt wurde.
- Der Kaliumgehalt sinkt von 3,4 kg/m<sup>3</sup> im Zulauf auf 2,7 kg/m<sup>3</sup> in der festen Phase ab und steigt in der flüssigen Phase auf 3,5 kg/m<sup>3</sup> an.

- Der Phosphatgehalt steigt von 1,1 kg/m<sup>3</sup> im Zulauf auf 2,0 kg in der festen Phase an und sinkt in der flüssigen Phase auf 0,9 kg ab.

Die Separierung des Gärrückstandes ermöglicht eine gezielte Ausbringung der festen Phase und somit der organischen Substanz auf Flächen auf denen Humus zehrende Kulturen (beispielsweise Getreide) angebaut werden. Des Weiteren kann mit einer Separierung des Gärrückstandes eine gezielte Ausbringung des Phosphats erreicht werden.

Ein Pressschneckenseparator weist auch bei der ökonomischen Betrachtung deutliche Vorteile gegenüber einem Siebtrommelseparator auf. Dies schlägt sich bei den jährlichen Kosten mit dem Faktor 2,5 bis 2,6 nieder. Durch die Abtrennung der Feststoffe können Güllelagervolumen und somit Kosten von 1.400 bis 6.300 €/Jahr eingespart werden. Bei der Separierung entstehen jedoch laufende Kosten von 10.400 bis 48.400 €/Jahr, wodurch die Separierung bei rein ökonomischer Betrachtung nicht sinnvoll erscheint.

## 5. Ausbringung und Transport des Gärrestes und der flüssige Phase nach dem Separieren

*Autoren: F. Handler und E. Blumauer*

Es stehen im Wesentlichen folgende drei Verfahren zur Verfügung:

1. Beim **einphasigen Verfahren** übernehmen der Traktor und das Güllefass die Befüllung, den Transport und die Verteilung des Gärrestes.
2. Beim **mehrphasigen Verfahren** werden der Transport und die Ausbringung getrennt, wobei die Gülleübergabe direkt vom Transportfahrzeug in das Ausbringfahrzeug oder eine Zwischenlagerung in einem fahrbaren Feldrandcontainer erfolgen kann. Dieses Verfahren wird bei großen Transportentfernungen eingesetzt. Da das Ausbringfahrzeug nur beim Überstellen von einem Feld zum anderen dieses verlassen muss, wird auch die Straßenverschmutzung deutlich reduziert. Gleichzeitig kann am Verteilfahrzeug bodenschonende Bereifung verwendet werden.
3. Die **Gülleverschlauchung** kommt auf arrondierten Betrieben oder von Feldrandbehältern aus zum Einsatz. Dabei wird der Gärrest durch eine Pumpe vom Lagerbehälter über eine Schlauchleitung zum am Traktor montierten Verteiler gepumpt.

### 5.1 Einphasigen Verfahren

Bei den Fässern kann grundsätzlich zwischen drei Fasstypen unterschieden werden.

Am häufigsten werden **Vakuumfässer mit Luftkompressor** eingesetzt, da diese am kostengünstigsten sind. Diese können sowohl Vakuum als auch Druck aufbauen, wobei der Überdruck in der Regel unter 1 bar liegt. Der Fasskörper muss dem Druck standhalten können und ist daher aus Stahl gefertigt. Um die Schlagkraft zu erhöhen werden auch bei **Vakuumfässern kombinierte Vakuum-Kreisel-Pumpen** eingesetzt. Dadurch sind ein besserer Befüllungsgrad und eine raschere Befüllung möglich.

Der leichtere Kunststoff kann bei **Pumpfässern** eingesetzt werden, die mit einer Excenterschnecken- oder Drehkolbenpumpe ausgerüstet sind. Bei der Gärrestausrückbringung werden große und leistungsfähige Gespanne mit einem Fassinhalt von 8 bis 24 m<sup>3</sup>

eingesetzt. Die Motorleistung des Zugfahrzeuges sollte entsprechend Praxiserfahrungswerten pro m<sup>3</sup> Fassinhalt 7 bis 10 kW betragen.

Wichtig ist, dass der Gärrest vor der Ausbringung homogenisiert, d. h. gemixt, ist. Die Zufahrt zum Befüllort sollte ausreichend breit, gerade und ohne zurückschieben möglich sein. Diese Forderung muss bereits bei der Anlagenplanung berücksichtigt werden. Bei Platzmangel ist mit erhöhtem Rangieraufwand zu rechnen.

Bei der Befüllung der Fässer wird zwischen Eigen- und Fremdbefüllung unterschieden. Fremdbefüllung macht vor allem dort Sinn, wo bereits leistungsfähige Pumpen bei der Biogasanlage vorhanden sind.

Bei der Befüllung der Fässer kann es vor allem bei hohen Volumenströmen zur Schaumbildung kommen. Dies reduziert den möglichen Füllgrad. Aus diesem Grund gibt es je nach Befüllsystem die Möglichkeit den Schaum über eine Rückführleitung zurückzuführen. Beim Einsatz von kombinierten Vakuum-Kreiselpumpen sorgt ein Sicherheitsventil dafür, dass ein Überlaufen verhindert wird bzw. es zu keinem schädlichen Überdruck im Fasskörper kommt.

Erhebungen haben gezeigt, dass die Nebenzeiten beim Befüllen je nach räumlichen Gegebenheiten und der Persönlichkeit des Fahrers zwischen 0,85 und 1,75 min/Füllung schwanken. Die Nebenzeiten umfassen das Anschließen der Leitungen inkl. Einschalten der Pumpe und das Abschließen der Leitung inkl. abschalten der Pumpe. Störungen werden vor allem durch ungenaues Zufahren verursacht.



Abbildung 41: Gärrestübergabestelle mit Steuerungskasten für die Güllepumpe

Bei der **Fremdbefüllung** mit stationären Pumpen wurden durchschnittliche Volumenströme je nach Anlage, Füllstand und TS-Gehalt zwischen 2,8 und 4,5 m<sup>3</sup>/min gemessen.

Abbildung 41 zeigt eine mögliche Form der Gärrestübergabestelle für Güllefässer bzw. Tankfahrzeuge mit entsprechendem Steuerungskasten. Jeder Gärrestbezieher erhält einen Code mit dem er die Güllepumpe einschalten kann. Weiters ermöglicht die Steuerung auch die Gärrestmenge auf die Transporteinheit abzustimmen. Die Pumpe schaltet dann selbstständig nach Erreichen der voreingestellten Gärrestmenge ab. Die Pumpmengen werden protokolliert. Aus Kostengründen stehen Güllepumpen mit einfacher Steuerung per



Funk oder Kabel zur Verfügung, bei denen händisch über die entnommenen Gärrestmengen Aufzeichnungen geführt werden.

Bei der **Eigenbefüllung** gibt es drei Möglichkeiten zur Verbindungsherstellung zum Saugschlauch. Der erforderliche Zeitaufwand hierfür ist maßgeblich vom Gefühl des Fahrers abhängig.

1. Sauganschluss mit Schnellkuppler

Bei diesem System muss die Saugleitung händisch am Güllefass angekuppelt werden. Der Fahrer muss zum An- und Abkuppeln den Traktor verlassen. Das bedeutet, dass bei diesem System die erforderliche Standzeit höher ist als bei Verwendung eines Saugarmes.

2. Saugarm mit Gummitrichter

Am Fass befindet sich ein Saugarm (6“ oder 8“ Ausführung), der in den Gummitrichter der Saugleitung geschwenkt wird. Dies erfordert, dass möglichst genau zugefahren wird. Bei diesem System ist das Verlassen der Kabine während des Saugvorganges nicht erforderlich. Dies ermöglicht die Standzeit gegenüber dem Sauganschluss mit Schnellkuppler zu verringern.

3. Vollhydraulischer Pumpenturm

Der Pumpenturm erfordert offene Gärrestbehälter, um mit ihm hineinschwenken zu können. Er ist mit einer leistungsstarken Kreislpumpe ausgestattet. Der beim Füllen anfallende Schaum wird durch den Rücklauf ausgestoßen. Dies ermöglicht eine vollständige Befüllung.



Abbildung 42: Pumpfassbefüllung mittels Saugarm

Bei der **Eigenbefüllung** wurden mittlere Volumenströme zwischen 1,8 m<sup>3</sup>/min bei leistungsschwachen Vakuum-Kreislumpen und 4,2 m<sup>3</sup>/min bei leistungsstarken selbstansaugenden Kreislumpen gemessen. Mit dem Pumpenturm werden Volumenströme von über 10 m<sup>3</sup>/min erreicht.

Hinsichtlich der **Verteiltechnik** stehen Breit- und Bandverteiler zur Auswahl. Bei Breitverteilern (Prallkopfverteiler, Pendelverteiler) ist das Risiko, das

N-Verluste auftreten sehr hoch. Sie sollten daher bei der Ausbringung von Gärrest keinesfalls eingesetzt werden. Der am häufigsten verwendete Bandverteiler ist der Schleppschlauchverteiler. Je nach Größe des Güllefasses werden Schleppschlauchverteiler mit einer Arbeitsbreite von 6 bis 15 m eingesetzt. Am internationalen Markt sind Schleppschlauchverteiler bis 28 m Arbeitsbreite verfügbar. Je größer die Arbeitsbreite bei den Schleppschlauchverteilern ist, desto störender sind Hindernisse (Obstbäume, Hochspannungsleitungen, etc.). Einarbeitungsgeräte für Ackerland (Injektoren) und Grünland (Schlitzgeräte) zählen ebenfalls



Abbildung 43: Vollhydraulischer Pumpenturm (Quelle Samson Agro A/S)

zu den Bandverteilern. Sie weisen die geringsten N-Verluste auf. Sie sind im Vergleich zum Schleppschlauchverteiler teuer. Trotz der geringen Arbeitsbreiten ist ihr Zugkraftbedarf beträchtlich (NEFF 2008). Sie erschweren Straßenfahrten. Die möglichen Flä-

chenleistungen sind geringer als beim Schleppschlauchverteiler. Aus diesen Gründen werden sie sehr selten eingesetzt.

In Praxiserhebungen schwankte der Volumenstrom durch den Verteiler bei einem 15-m-Schleppschlauchverteiler zwischen 2,0 und 3,2 m<sup>3</sup>/min. Beim Pendelverteiler (12 m Arbeitsbreite) bewegte er sich zwischen 1,5 und 2,4 m<sup>3</sup>/min. Der Volumenstrom durch den Verteiler bestimmt den Zeitbedarf für das Verteilen am Feld.

Tabelle 17: Mittlere Fahrgeschwindigkeiten beim Gärresttransport mittels Traktor in der Praxis

Transportabschnitt	Fahrgeschwindigkeit [km/h]
Straßenfahrt Transportfahrzeug beladen	30
Feldweg Transportfahrzeug beladen	15
Feldweg Transportfahrzeug unbeladen	20
Straßenfahrt Transportfahrzeug unbeladen	35

Die in Tabelle 17 zusammengefassten mittleren Fahrgeschwindigkeiten werden bei optimalen Bedingungen erreicht. Bei kurvenreichen und engen Straßen, Straßen mit starken Gefällen und Steigungen, bzw. im verbauten Gebiet sind die mittleren Fahrgeschwindigkeiten aufgrund der subjektiven Gefährdung der anderen Verkehrsteilnehmer und Anrainer nicht zu erreichen. Bezüglich der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten siehe Seite 11.

### Einfluss der Fassgröße auf den Arbeitszeitbedarf

Die Fassgröße hat neben der Transportentfernung den entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Gärrestausbringung. Die Bedeutung der Fassgröße wird umso größer, je größer die Transportentfernung wird. Dies ist in Abbildung 44 dargestellt. Steigt beispielsweise die Transportentfernung von 1 km auf 10 km an, so erhöht sich beim 12-m<sup>3</sup>-Fass der Arbeitszeitbedarf von 14,8 auf 44,2 min/10m<sup>3</sup> auf das rund 3-fache. Beim 18-m<sup>3</sup>-Fass beträgt dieser Anstieg das 2,5-fache von 11,3 auf 28,1 min/10m<sup>3</sup>.

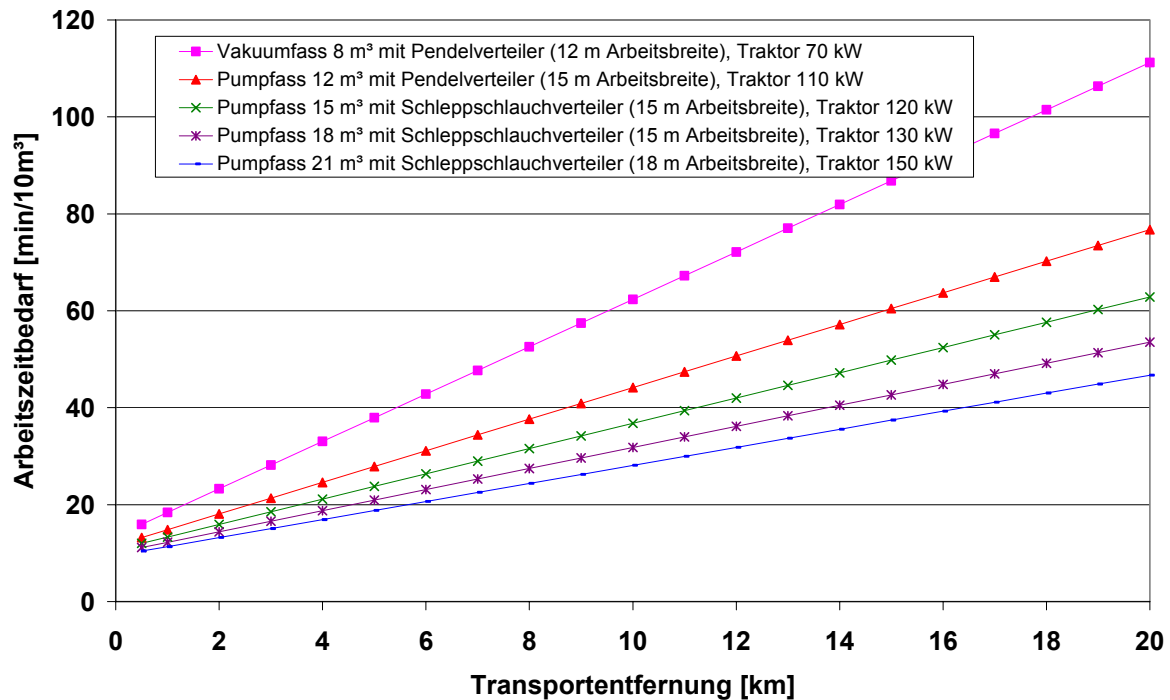


Abbildung 44: Einfluss der Fassgröße auf den Arbeitszeitbedarf bei der Gärrestausbringung (Ausbringmenge 30 m³/ha, Schlaggröße 3 ha, Fahrgeschwindigkeiten siehe Tabelle 17)

### Einfluss der Ausbringmenge auf den Arbeitszeitbedarf

Der Einfluss der Ausbringmenge auf den Arbeitszeitbedarf pro 10 m³ ausgebrachtem Gärrest ist gering. Beispielsweise weist ein 18-m³-Pumpfass mit einem 15-m-Schleppschauchverteiler bei einer Ausbringmenge von 15 m³/ha pro 10 m³ ausgebrachtem Gärrest einen um rund 0,5 min höheren Zeitbedarf auf als bei 45 m³/ha. Dies entspricht bei einer Transportentfernung von 1 km rund 4 % und bei 5 km rund 3 % der Gesamtzeit. Mit zunehmender Ausbringmenge nimmt die Anzahl der Wendungen bezogen auf die ausgebrachte Menge ab, deshalb sinkt der Zeitbedarf für das Verteilen am Feld.

### Einfluss der Schlaggröße auf den Arbeitszeitbedarf

Es kommt nicht auf die Schlaggröße, sondern auf die Feldlänge an. Ideal ist, wenn die Feldlänge der Verteilstrecke entspricht. Ziel sollte sein, die Leerfahrten auf dem Feld möglichst zu vermeiden, da sich diese negativ auf den erforderlichen Arbeitszeitbedarf auswirken.

### Einfluss der Arbeitsbreite auf den Arbeitszeitbedarf

Die Auswirkung der Arbeitsbreite ist gering, obwohl sich der Anteil der Wendezeiten mit zunehmender Arbeitsbreite verringert und damit der Arbeitszeitbedarf pro 10 m³ ausgebrachtem Gärrest sinkt. Bei einem 15-m³-Pumpfass macht die Differenz zwischen einem 12-m-Schleppschauchverteiler und einem 18-m-Schleppschauchverteiler bei einer Ausbringmenge von 30 m³/ha 0,2 min/10 m³ aus. Dies sind bei einer Transportentfernung von 1 km rund 1 % der Gesamtarbeitszeit. Bei größeren Transportentfernungen nimmt der Anteil weiter ab.

Breitverteiler weisen tendenziell einen geringeren Arbeitszeitbedarf auf, da das Aus- und Einklappen des Verteilers wegfällt. Bei einer Arbeitsbreite von 12 m, einem Fassvolumen von 15 m<sup>3</sup> und einer Ausbringmenge von 30 m<sup>3</sup>/ha beträgt die Differenz zwischen einem Schleppschlauch- und einem Pendelverteiler rund 1 min /10 m<sup>3</sup> ausgebrachtem Gärrest. Dies sind bei einer Transportentfernung von 1 km rund 8 % und bei 5 km rund 4 % der Gesamtarbeitszeit.

Mit zunehmender Ausbringmenge werden die Unterschiede innerhalb der Verteilerbauarten tendenziell kleiner.

## **5.2 Mehrphasige Systeme**

Beim mehrphasigen System wird der Gärrest mit einer leistungsstarken Pumpstation beim Endlager in die Zubringerfässer gepumpt. Diese transportieren den Gärrest zum Feld, wo dieser vom Ausbringfass übernommen wird. Vor allem bei großen Transportentfernungen macht es Sinn den Transport und die Ausbringung des Gärrestes zu entkoppeln. Dies ermöglicht Spezialfahrzeuge für den Transport und die Ausbringung einzusetzen. Die Transportfahrzeuge weisen ein möglichst großes Fassungsvermögen auf und werden mit Reifen ausgestattet, die speziell für Straßenfahrt ausgelegt sind. Diese Reifen haben eine relativ kleine Aufstandsfläche und einen hohen Reifendruck (ca. 9 bar). Dadurch werden der Verschleiß und der Rollwiderstand minimiert. Letzteres hilft Treibstoff sparen. Das Fahren der Transportgespanne in das Feld ist nicht notwendig, was mögliche starke Straßenverschmutzungen vermeidet. Am Feld hingegen ist das Ziel den Bodendruck möglichst gering zu halten. Das wird einerseits durch breite Bereifung mit großem Durchmesser und andererseits durch geringen Luftdruck im Reifen (ca. 0,6 bar) erreicht. Der Einsatz von speziellen Ausbringgeräten in Kombination mit Injektor oder Grubber wird erst durch das mehrphasige System sinnvoll.

### **Art der Transportfässer**

Neben den zur Verfügung stehenden Vakuum- und Pumpfässern werden häufig Zubringerfässer mit einem Fassungsvermögen von 11 bis 26 m<sup>3</sup> eingesetzt. Im überbetrieblichen Einsatz haben sich aus Kosten- und Gewichtsgründen spezielle Zubringerfässer bewährt. Diese können fremd befüllt bzw. fremd entladen werden.

Beim Gärresttransport über weitere Strecken kommen LKW-Züge oder Tanksattelzüge zum Einsatz, deren maximales Fassungsvermögen liegt zwischen 26 und 28 m<sup>3</sup>. Sie sind mit Drehkolbenpumpen und teilweise zusätzlich mit Kompressoren zum Entladen ausgestattet und erreichen laut Herstellerangaben einen Volumenstrom von 2 bis 2,5 m<sup>3</sup>/min bei der Entleerung. Es können aber auch spezielle Gülletankaufleger ohne Pumptechnik aufgesattelt werden. In diesem Fall erfolgt die Befüllung und Entleerung wie bei den Zubringerfässern fremd.





Abbildung 45: Fahrbare Pumpe zur schlagkräftigen Fremdbefüllung (Quelle [www.walch.or.at](http://www.walch.or.at))

Zugfahrzeug die gleichen Transportgeschwindigkeiten wie beim einphasigen System erzielt (siehe Tabelle 17).

Beim LKW-Transport können aufgrund der höheren Bauartgeschwindigkeit entsprechend höhere mittlere Transportgeschwindigkeiten bei „normalen“ Verkehrsbedingungen erzielt werden. Im Stadtverkehr, in verkehrsberuhigten Bereichen, bei Ampelanlagen, bei Baustellen, etc. kann die mittlere Transportgeschwindigkeit entsprechend sinken.

Um beim direkten Überladen Wartezeiten zu minimieren, müssen die Transportkapazität und die Ausbringkapazität optimal aufeinander abgestimmt sein. Weiters sollte das Fassvolumen der Transportfahrzeuge ein ganzzahliges Vielfaches des Fassvolumens des Verteilfahrzeuges sein. Bewährt haben sich das Zwei- oder Dreifache.

### Erzielbare Transportgeschwindigkeiten

Grundsätzlich werden bei Verwendung eines Traktors als

Tabelle 18: Mittlere Fahrgeschwindigkeiten beim Gärresttransport mittels LKW

Transportabschnitt	Fahrgeschwindigkeit [km/h]
Straßenfahrt Transportfahrzeug beladen	55
Feldweg Transportfahrzeug beladen	15
Feldweg Transportfahrzeug unbeladen	20
Straßenfahrt Transportfahrzeug unbeladen	65

### Gärrestübernahme am Feldrand

Grundsätzlich stehen zwei Möglichkeiten zur Gärrestübernahme am Feldrand zur Verfügung.

#### 1. Gärrestübernahme direkt vom Ausbringergerät

Bei diesem System wird der bei der Ausbringeinheit montierte Saugarm zum Zubringfass geschwenkt, wobei die erzielbaren Volumenströme von der Leistungsfähigkeit der Pumpe abhängen. Vergleichbare Volumenströme wie bei der Fremdbefüllung sind erzielbar. In der Praxis sind üblicherweise 2 bis 3 Entnahmen notwendig, bis das Zubringfass entleert ist. In dieser Zeit steht das Gespann mit dem Zubringfass am Feldrand.



Abbildung 46: Gärrestübernahme mittels Saugarm vom Zubringfass (Quelle [www.walch.or.at](http://www.walch.or.at))

## 2. Gärrestübergabe in einen Feldrandcontainer

Um unproduktive Wartezeiten der Zubringgespanne am Feldrand zu vermeiden, wurden spezielle Feldrandcontainer mit einem Nutzinhalt von 30 bis 60 m<sup>3</sup> entwickelt. In diesen pumpen die Zubringgespanne den transportierten Gärrest. Die Feldrandcontainer sind im leeren Zustand von einem Feld zum anderen überstellbar.

## Gärrestausbringung beim mehrphasigen System mittels Pumpfässern

Zur Gärrestausbringung können sämtliche Ausbringeinheiten, wie beim einphasigen System zum Einsatz kommen. Der erforderliche Arbeitszeitbedarf entspricht im Wesentlichen bei der Befüllung und Ausbringung dem einphasigen System.



Abbildung 47: Gärrestausbringung mittels Schleppschlauchverteiler im bestehenden Maisbestand mittels Selbstfahrer (Quelle [www.walch.or.at](http://www.walch.or.at))



Abbildung 48: Selbstfahrer mit angehängtem Güllegrubber  
(Quelle [www.walch.or.at](http://www.walch.or.at))

### **Gärrestausbringung beim mehrphasigen System mittels Selbstfahrer**

Der Selbstfahrer kann je nach Hersteller und Modell zwischen 7,5 und 17 m<sup>3</sup> Gärrest aufnehmen. Empfehlenswert ist eine Reifendruckregelung um den Bodendruck am Feld möglichst gering halten zu können und bei Überstellungsfahrten entsprechend zu erhöhen. Weiters wird die Hundeganglenkung als Wunschausrüstung angeboten. Diese ermöglicht die spurversetzte Fahrt und schont zusätzlich den Boden.



Abbildung 49: Selbstfahrer mit Scheibeninjektor im Grünland-einsatz mit versetzter Spur (Quelle Firma Vredo)



Die Selbstfahrer sind wesentlich wendiger als angehängte Pumpfässer und können daher auch leichter in Reihenkulturen wie etwa Mais eingesetzt werden.

Da beim Selbstfahrer das Feld nur bei Überstellungsfahrten verlassen wird, werden auch Güllegrubber bzw. Gülleinjektoren aufgebaut. Durch die sofortige Einarbeitung des Gärrestes in den Boden können N-Verluste weitestgehend vermieden werden. Sowohl Güllegrubber als auch Gülleinjektor sind entsprechend schwer und sperrig und werden daher überwiegend beim mehrphasigen System eingesetzt. Arbeitsbreiten von 3 bis 9 m sind auf dem Markt.

## Arbeitszeitbedarf bei zweiphasigen Systemen

Der Arbeitszeitbedarf in Abhängigkeit vom Transportfahrzeug und der Transportentfernung ist in Abbildung 50 grafisch zusammengefasst. Mit zunehmender Transportentfernung nimmt die Überlegenheit der großen Transportgespanne zu. Bei größeren Transportentfernungen wird sich daher der Tanksattelzug durchsetzen. Ergänzend zu Abbildung 50 ist in Abbildung 51 das von einem Transportgespann stündlich transportierte Gärrestvolumen dargestellt. Die beiden Abbildungen enthalten keine Wartezeiten. Dieser Idealfall tritt in der Regel nur beim Gärresttransport in große dezentrale Gärrestlager auf.

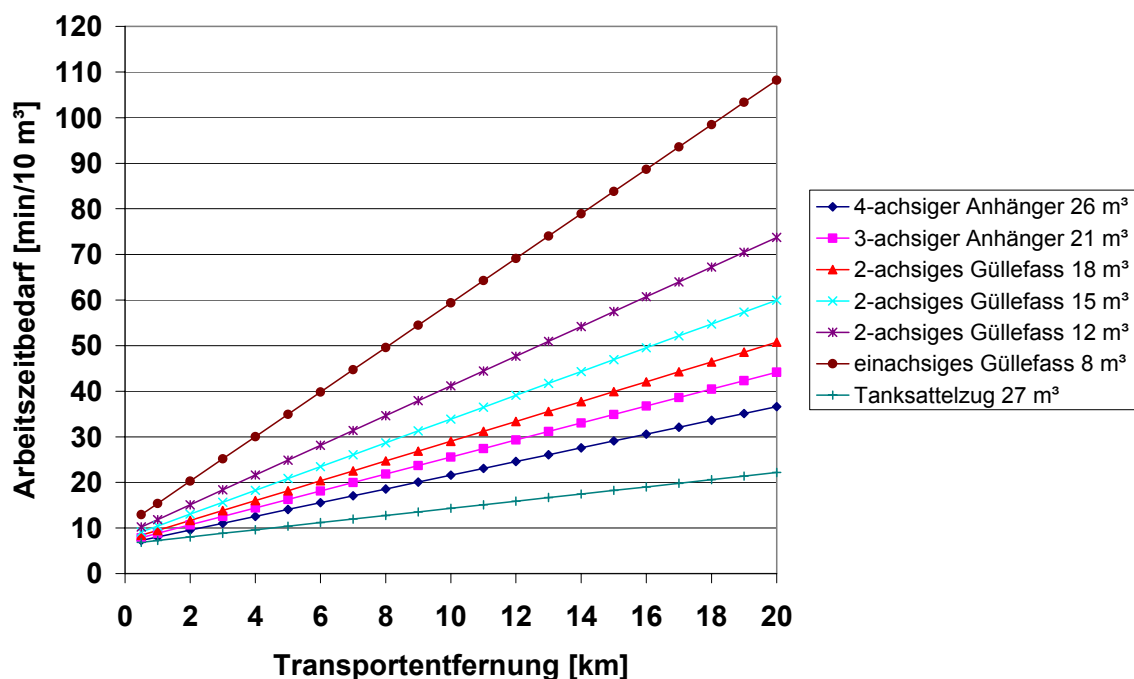


Abbildung 50: Arbeitszeitbedarf (ohne Wartezeiten) für den Gärresttransport in Abhängigkeit von der Transportentfernung<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Annahmen: Volumenstrom bei der Befüllung und Entleerung 4,2 m³/min; Fahrgeschwindigkeit Saugsattelzug: Straßenfahrt voll: 55 km/h, Feldweg voll: 15 km/h, Feldweg leer: 20 km/h, Straßenfahrt leer: 65 km/h; Fahrgeschwindigkeit Traktor: Straßenfahrt voll: 30 km/h, Feldweg voll: 15 km/h, Feldweg leer: 20 km/h, Straßenfahrt leer: 35 km/h; Füllgrad der Transporteinheiten 95 %, Zwischenlager bzw. Container 100 m von der öffentlichen Strasse entfernt und über einen Feldweg erreichbar, Entladen des Transportgespannes ohne Unterbrechung

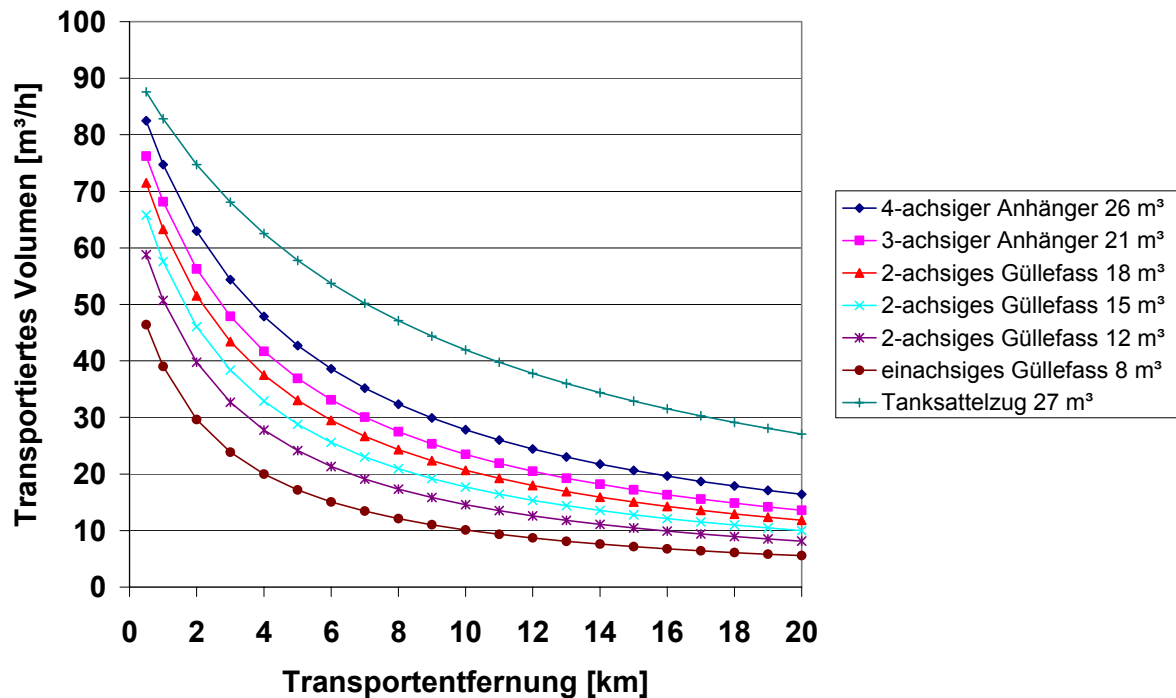


Abbildung 51: Transportiertes Gärrestvolumen (ohne Wartezeiten) in Abhängigkeit von der Transportentfernung (Berechnungsgrundlagen siehe Abbildung 50)

Um Wartezeiten zu vermeiden müssen beim zweiphasigen System Transportleistung und Ausbringleistung aufeinander abgestimmt sein. Dies ist in der Praxis nur begrenzt möglich, da die Transportentfernungen schwanken und die Transportgespanne nicht teilbar sind. Zu den stufenförmigen Verläufen des Arbeitszeitbedarfes in Abbildung 52 kommt es wegen der Bedingung, dass das Verteilfahrzeug am Feld keine Wartezeit aufweisen soll. Jede Stufe entspricht einem zusätzlichen Transportgespann, das eingesetzt werden muss, um mit zunehmender Transportentfernung diese Bedingung erfüllen zu können. Die Stufen werden durch die Wartezeit des zusätzlichen Transportgespannes verursacht. Die an der Basis der Treppen dargestellten strichlierten Linien zeigen den Verlauf des Arbeitszeitbedarfes ohne das Warten vor dem Entladen des Transportgespannes am Feldrand, wenn das vorherige Transportgespann noch nicht leer ist. Bei den mit durchgehenden Linien gezeichneten Treppen wird direkt vom Transport- in das Verteilfahrzeug übergeladen.

Beim Transport mit einem 24-m³-Tanksattelzug wird bei einer Verteilleistung von 60 m³/h bis zu einer Transportentfernung von rund 12 km mit zwei Gespannen das Auslangen gefunden. Darüber muss eine dritte eingesetzt werden, um nicht weniger als 60 m³/h zu liefern. Vom 24-m³-Traktorgespann werden auf Grund der geringeren Fahrgeschwindigkeit bei 12 km bereits drei Gespanne benötigt. Zwischen dem 24-m³- und 20-m³-Traktorgespann kommt es auf Grund der unterschiedlichen Wartezeiten bei den unterschiedlichen Transportentfernungen zu Überschneidungen. Die unterschiedlichen Verteilleistungen (60 bzw. 54 m³/h) ergeben sich aus der unterschiedlichen Größe der Verteilfahrzeuge. Bei der direkten Überladung wird unterstellt, dass das Volumen des Transportgespannes doppelt so groß wie das des Verteilfahrzeuges ist. Dadurch kommt es zu Wartezeiten für das Transportfahrzeug während das Verteilfahrzeug die erste Hälfte des angelieferten Gärrestes verteilt. Diese Wartezeit kann durch die Verwendung eines Feldrandcontainers vermieden werden. Dies führt zur Verminderung des Arbeitszeitbedarfes und zu einer Vergrößerung der Transportentfernung bei gleicher Anzahl von Transportgespannen (vergleiche Abbildung 52

Linie „Traktor (170 kW) mit Anhänger, 24 m<sup>3</sup> pro Fahrt, ohne Feldrandcontainer, 60 m<sup>3</sup>/h“ und „Traktor (170 kW) mit Anhänger, 24 m<sup>3</sup> pro Fahrt, mit Feldrandcontainer, 60 m<sup>3</sup>/h“).

Diese puffernde Wirkung des Feldrandcontainers vermindert nicht nur Wartezeiten, sondern sie entkoppelt auch die Größe von Verteil- und Transportfahrzeug. Allerdings ist im Vergleich zum direkten Überladen vom Transport- zum Verteilfahrzeug ein zusätzlicher Umpumpvorgang erforderlich und das Umstellen erfordert Arbeitszeit und ein Zugfahrzeug. Vor dem Umstellen müssen die Feldrandcontainer in der Regel entleert werden. Dies führt zu Störungen und Wartezeiten bei den Transportfahrzeugen und beim Verteilfahrzeug. Deshalb werden Feldrandcontainer nur bei großen Schlägen eingesetzt, wo maximal einmal am Tag umgestellt werden muss.

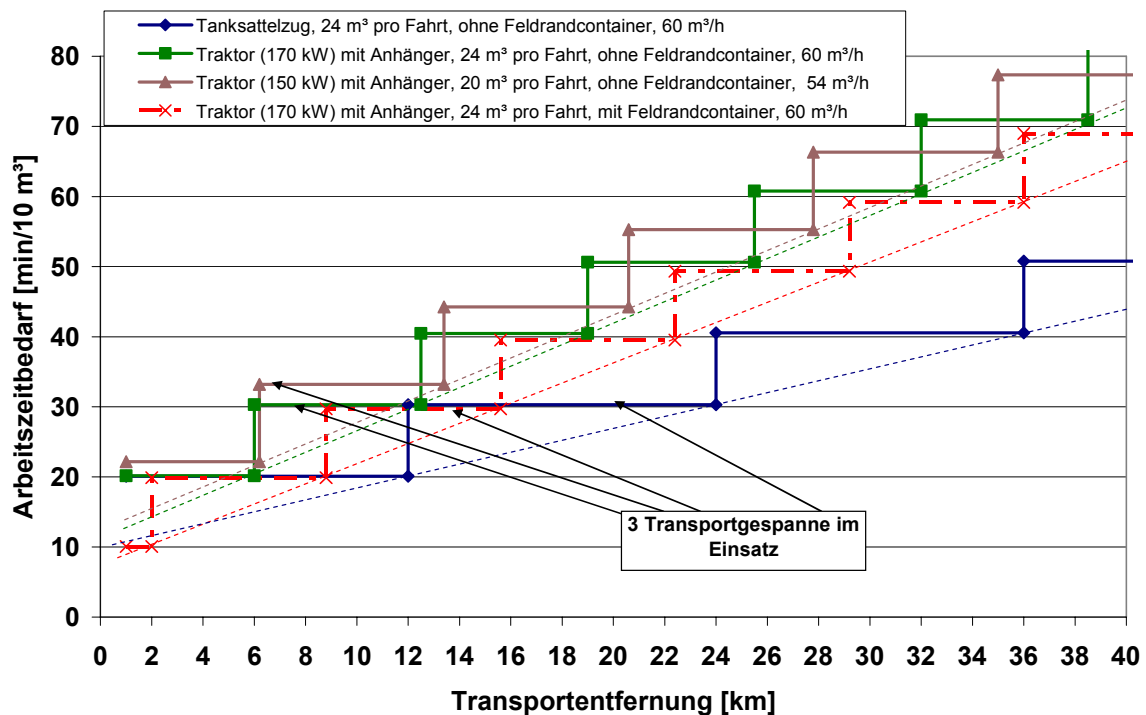


Abbildung 52: Arbeitszeitbedarf für den Gärresttransport bei einer Verteilleistung des Verteilfahrzeuges am Feld von 60 bzw. 54 m<sup>3</sup>/h

Um die bei großen Biogasanlagen anfallenden Mengen trotz der großen Transportentfernungen an den verfügbaren Feldarbeitstagen ausbringen zu können, ist eine hohe Schlagkraft der Transportfahrzeuge erforderlich. Ein dezentrales Zwischenlager in der Nähe der Ausbringflächen hätte den Vorteil, dass der Transport gleichmäßig über das Jahr verteilt werden kann. Damit können Arbeitsspitzen entschärft werden. Die dezentrale Lagerung hat den Nachteil, dass sie zusätzliche Lade- und Entladevorgänge verursacht.

In diesem Zusammenhang wurde auf der Agritechnica 2007 eine Lösung vorgestellt, die Leerfahrten vermeidet, wenn ein dezentrales Substratlager und ein dezentrales Gärrestlager am gleichen Ort zur Verfügung stehen. Durch Anheben des hydraulischen Zwischenbodens wird aus einem Muldenkipper zum Gärsubstrattransport ein 27 m<sup>3</sup> fassendes, geschlossenes Zubringerfass (SIGA, 2007). Die Befüllung bzw. Entleerung mit Gärrest erfolgt laut Produktbeschreibung mit einer Verdrängerpumpe mit einem

Volumenstrom von 6 m<sup>3</sup>/min. Für das Laden des Gärsubstrates ist ein Lader erforderlich. Erste Praxiserfahrungen können voraussichtlich 2008 gesammelt werden.

In Tabelle 19 ist der Zeitbedarf für das Verteilen ab Feldrand mit verschiedenen Verteilfahrzeugen zusammengefasst. Das System mit 8 m<sup>3</sup> Fassvolumen schneidet nicht nur aufgrund des geringeren Fassvolumens schlechter ab, sondern auch der Volumenstrom beim Befüllen und Ausbringen ist geringer. Bei kleiner Fassgröße verursachen große Arbeitsbreiten unnötige Feldfahrten im leeren bzw. vollen Zustand.

Tabelle 19: Zeitbedarf und Verteilleistung ab Feldrand bei unterschiedlicher Ausbringtechnik (30 m<sup>3</sup>/ha Sollausbringmenge)

Typ	Fassvolumen [m <sup>3</sup> ]	Arbeitsbreite [m]	Volumenstrom beim Befüllen [m <sup>3</sup> /min]	Volumenstrom beim Ausbringen [m <sup>3</sup> /min]	Zeitbedarf [min/10 m <sup>3</sup> ]	Verteilleistung [m <sup>3</sup> /h]
Fass ohne Saugarm (70 kW)	8,0	6	3,0	2,0	15,5	39
Fass mit Saugarm (90 kW)	10,5	12	4,2	2,5	11,1	54
Selbstfahrer mit Saugarm	12,5	12	4,2	2,5	10,1	59

### 5.3 Gärrestverschlauchung

Bei der Verschlauchung handelt es sich um die bodenschonenste Form der und Gärrestausrückführung. Ursprünglich wurde die Gülleverschlauchung für den alpinen Raum entwickelt, Aufgrund der technischen Weiterentwicklung wird sie in der Zwischenzeit auch in Ackerbaugebieten eingesetzt. Die Gärrestverschlauchung ermöglicht die Ausbringung zu einem Zeitpunkt, wo bei der Fassausbringung noch nicht in das Feld gefahren werden kann. Dies ermöglicht die Gärrestausrückführung an mehr Feldarbeitstagen als mit dem Fass. Weiters kann die Straßenverschmutzung gering gehalten werden, da der Traktor das Feld nur bei Überstellungsfahrten verlassen muss.

Die Verschlauchungsanlage besteht aus der Pumpe, den Schläuchen und dem am Traktor aufgebauten Verteiler.

Bei der Pumpenwahl bilden die Pumpenkennlinien eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Sie geben Auskunft über den Volumenstrom (m<sup>3</sup>/h) bei unterschiedlichem Gegendruck. Der Volumenstrom sollte trotz unterschiedlichem Gegendruck möglichst konstant bleiben, wobei neben den kaum verwendeten Kolbenpumpen die heute meist verwendeten Exzentrerschneckenpumpen die höchste Förderkonstanz aufweisen (FRICK 1994). Die Kennlinien von Drehkolbenpumpen haben eine ähnliche Charakteristik, wie jene der Exzentrerschneckenpumpen. Kreiselpumpen kommen nur bei geringem Gegendruck in ebenen Lagen in Frage, da sie bei Gegendruckschwankungen mit starken Volumenstromänderungen reagieren. Um eine konstante Ausbringmenge zu erreichen, müsste je nach Volumenstrom die Fahrgeschwindigkeit des Verteilers angepasst werden. Die in Österreich heute verwendeten Anlagen schaffen zwischen 40 und 80 m<sup>3</sup>/h bei einem Druck zwischen 12 und 20 bar. In Dänemark werden Anlagen mit bis zu 150 m<sup>3</sup>/h bei einem Druck von 12 bar eingesetzt.

Eine Funkfernsteuerung der Pumpe vom Verteilfahrzeug aus ermöglicht die Einsparung der zweiten Arbeitskraft, die zur Bedienung der Güllepumpe notwendig ist.



Abbildung 53: Verschlauchungsanlage am Transportanhänger (Quelle Vakutec)

Der Gegendruck errechnet sich aus dem Strömungswiderstand in der Schlauchleitung und der Förderhöhe. Mit zunehmendem Volumenstrom nimmt der Druckverlust zu. Die Zunahme ist umso größer je kleiner der Schlauchquerschnitt ist (siehe Tabelle 20). Aus diesem Grund müssen mit zunehmendem Volumenstrom auch größere Schlauchquerschnitte gewählt werden, da ansonst der erforderliche Pumpendruck übermäßig ansteigt. Für die Höhendifferenz zwischen Gärrestlager und Verteiler müssen pro 10 m Höhendifferenz 1 bar Gegendruck berücksichtigt werden. Tabelle 21 zeigt ein Beispiel für die Berechnung des auftretenden Gegendruckes bei einer Verschlauchungsanlage.

Die letzten 100 bis 200 m vor dem Verteiler wird fallweise ein Schlauch mit einem geringeren Schlauchdurchmesser eingesetzt, was zur Verringerung der erforderlichen Zugkräfte am Traktor beiträgt. 100 m gefüllte Schlauchleitung wiegen je nach Leitungsdurchmesser 400 bis 700 kg. Davon fallen je nach Gefälle und Grasfeuchtigkeit 50 bis 80 % als Zugkraft am Traktor an (FRICK 1994). Bei der Güllever Schlauchung wird am weitest entfernten Punkt der zu düngenden Fläche begonnen. Aufgrund der Druckverluste in den Leitungen beträgt die kritische Feld-Hofentfernung rund 1 km, was in der Praxis einer Leitungslänge von 1200 bis 1600 m entspricht. Bei größeren Feld-Hofentfernungen ist die Verschlauchung nur mit Hilfe eines Feldrandcontainers bzw. großen Güllefässern möglich. Die Schläuche werden auf hydrostatisch angetriebenen Haspeln aufgerollt. Die Haspeln haben ein Fassungsvermögen von 400 bis 800 m Schlauch.

Tabelle 20: Druckverluste (Gegendruck) in Abhängigkeit vom Volumenstrom und Leitungsdurchmesser (Gülle mit 2 -4 % Trockensubstanzgehalt) (modifiziert nach FRICK 1994)

Volumenstrom		Schlauchdurchmesser		
		63 mm	75 mm	102 mm
l/min	m³/h	Druckverlust (Gegendruck) in bar/100 m Leitung		
700	42	1,9	0,8	0,20
800	48	2,4	1,0	0,27
900	54	2,9	1,2	0,35
1000	60	3,7	1,5	0,43

Tabelle 21: Rechenbeispiel für den Druckverlust einer Verschlauchungsanlage bzw. dem erforderlichen Druck an der Pumpe

Volumenstrom der Pumpe	54 m³/h	60 m³/h
800 m Schlauch mit 75 mm	9,6 bar	12,0 bar
Höhendifferenz 30 m	3,0 bar	3,0 bar
Erforderlicher Druck am Verteiler	1,5 bar	1,5 bar
Erforderlicher Druck an der Pumpe	14,1 bar	16,5 bar

Als Verteiler werden vor allem Pendel- und Schleppschlauchverteiler eingesetzt. Um die Emissionen zu minimieren, sollen nur Schleppschlauchverteiler eingesetzt werden. Ihre Arbeitsbreite liegt zwischen 6 und 24 m. Große Arbeitsbreiten erfordern sehr leistungsfähige Pumpen, da ansonsten die Fahrgeschwindigkeit des Verteilfahrzeuges sehr gering sein muss. In Tabelle 22 sind die erforderlichen Fahrgeschwindigkeiten bei in Österreich üblichen Arbeitsbreiten und Volumenströmen der Pumpen dargestellt. In Deutschland werden Schleppschlauchverteiler von bis zu 24 m Arbeitsbreite eingesetzt. Diese bedingen beispielsweise bei einer Ausbringmenge von 30 m³/ha bei einer Fahrgeschwindigkeit von 1,9 km/h einen Volumenstrom der Pumpe von 140 m³/h. Dieser hohe Volumenstrom erfordert große Schlauchdurchmesser, da ansonsten die Strömungswiderstände enorm ansteigen.

Entscheidend für den effizienten Einsatz der Verschlauchung ist die Schlaggröße. Die Rüst- und Nachbereitungszeit, die in Summe unabhängig von der Schlaggröße ca. 2 AKh beträgt, übersteigt die reine Verteilzeit bei kleinen Schlägen deutlich. Je größer die zu düngende Flächen sind umso interessanter ist die Verschlauchung. Dies gilt auch für größere Schlauchlängen. Der zusätzliche Arbeitszeitbedarf für das Aus- und Einrollen von beispielsweise 300 m Schlauch samt Haspeltransport (Rüst- und Nachbereitungszeit) beträgt rund eine halbe Arbeitsstunde.

Abbildung 54 zeigt, dass aufgrund der Verringerung des Rüst- und Nachbereitungsanteils am Gesamtarbeitszeitbedarf erst ab einer zu düngenden Fläche von 3 ha die Verschlauchung interessant wird. Weiters zeigt sich, dass je mehr Gärrest je Flächeneinheit ausgebracht wird, desto geringer ist der Arbeitszeitbedarf je 10 m³ ausgebrachtem Gärrest, da der Anteil der Rüst- und Nachbereitungsarbeiten mit zunehmender Ausbringmenge pro Hektar sinkt.



Tabelle 22: Zusammenhang zwischen Volumenstrom, Ausbringmenge, Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeit

Volumenstrom der Pumpe [m³/h]	Ausbringmenge [m³/ha]	Arbeitsbreite [m]	Fahrgeschwindigkeit während der Ausbringung [km/h]
50	15	6	5,6
50	15	12	2,8
50	45	6	1,9
50	45	12	0,9
70	15	6	7,8
70	15	12	3,9
70	45	6	2,6
70	45	12	1,3

Eine Erhöhung des Volumenstroms der Pumpe von 50 auf 70 m³/h bringt bei einer Schlaggröße von 10 ha und einer Ausbringmenge von 45 m³/ha lediglich ein Viertel an Arbeitszeiteinsparung und erfordert eine höhere Antriebsleistung an der Güllepumpe. Bei kleineren Ausbringmengen und kleineren Schlägen ist die Einsparung noch geringer.

Abbildung 55 zeigt den erforderlichen Arbeitszeitbedarf bei der Gülleverschlauchung in Abhängigkeit von der erforderlichen Schlauchlänge. Diese schlägt gerade bei kleinen Schlägen voll durch und führt bei großer Schlauchlänge zu einer Verdoppelung des erforderlichen Arbeitszeitbedarfes. Aus Gewichtsgründen wurde unterstellt, dass auf jeder Haspel 400 m Schlauch aufgespult sind. Dies erklärt die Sprünge von 400 auf 500 m, 800 auf 900 m und 1200 auf 1300 m Schlauchlänge. Mit zunehmender Feld-Hofentfernung wird auch die zurückzulegende Wegstrecke zum Holen der Schlauchhaspeln größer. Aus diesem Grund werden die Sprünge bei jeder zusätzlich erforderlichen Schlauchhaspel größer. In der Praxis ist es durchaus möglich auch deutlich mehr Schlauch pro Haspel aufzuspulen. Dies hängt von der Bauart der Haspel und den örtlichen Einsatzbedingungen (z. B.: Hanglagen) ab.

### Gärrestverschlauchung ab Feldrandcontainer

Um die Verschlauchung auch in größeren Feld-Hofentfernungen einsetzen zu können, bedarf es eines Feldrandcontainers. Bei der Verschlauchung ab Feldrandcontainer, der zwischen 30 und 60 m³ fassen kann, wird der Feldrandcontainer am Feldrand abgestellt. Die Befüllung des Feldrandcontainers erfolgt mit Zubringerfässern oder Tankwägen mit aufgebauter Pumpe. Aus der Diagonale der Flächen ergibt sich die erforderliche Schlauchlänge. Wichtig ist, dass der Feldrandcontainer nach Beendigung der Verschlauchung leer ist, da es sonst zu Schwierigkeiten beim Transport kommen könnte. Die Gülleverschlauchung erfolgt im Wesentlichen wie bei der Verschlauchung ab Endlager, wobei bei der Verschlauchung ab Endlager üblicherweise mehr Schlauch ausgelegt werden muss.



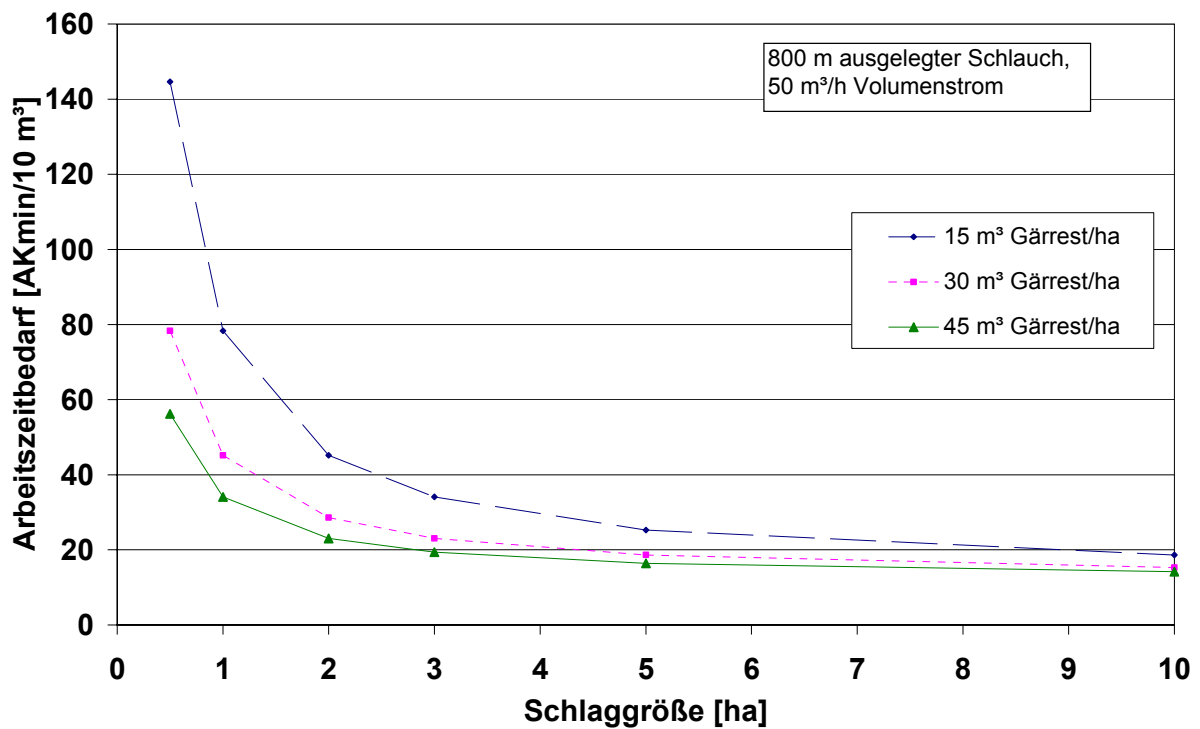


Abbildung 54: Erforderlicher Arbeitszeitbedarf in Abhängigkeit von der Sollaussbringungsmenge und der zu düngenden Fläche bei 50 m³/h Volumenstrom

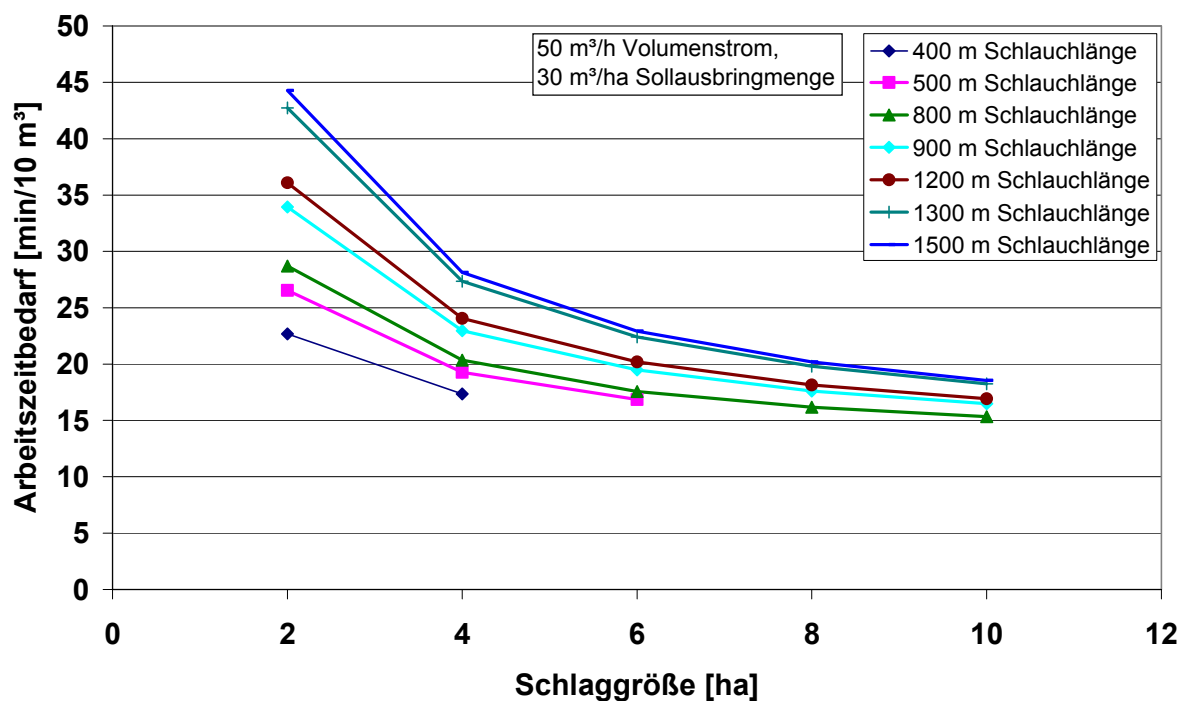


Abbildung 55: Einfluss der erforderlichen Schlauchlänge auf den Arbeitszeitbedarf

## 5.4 Schlussfolgerungen

Grundsätzlich gilt, dass je größer die Feld-Hofentfernung ist, desto größer sollte auch das Fassvolumen sein. Mit dem LKW als Zugfahrzeug, der höhere mittlere Transportgeschwindigkeiten ermöglicht, kann weitere Transportzeit eingespart werden. Ein Feldrandcontainer kann Wartezeiten der Transportfahrzeuge verringern. Auf Grund des Aufwandes beim Umstellen werden Feldrandcontainer nur bei großen Schlägen eingesetzt, wo maximal einmal am Tag umgestellt werden muss.

Der Zeitbedarf beim Ausbringen wird in erster Linie durch den Volumenstrom durch den Verteiler bestimmt. Die Arbeitsbreite des Verteilers und die Ausbringmenge/ha sind im Vergleich zur Fassgröße und Feld-Hofentfernung als Einflussfaktoren unbedeutend.

Die Gülleverschlauchung ist aufgrund der Rüst- und Nachbereitungsarbeiten erst ab einer zusammenhängenden Grundstücksgröße von 3 ha interessant ist.

